الدورية العالمية للعلوم / 24 سبتمبر 2021



قوّة البروتين

شبكة ذكاء اصطناعي تتنبَّأ بدقة عالية بالبنية ثلاثية الأبعاد للبروتيوم البشري

نونيلليون نوع
التعامل مع مجموعة متنوِّعة من الفيروسات

تخطيط الحضر
خطوط إمداد متنوِّعة تساعد على حماية المُدن من نقص الغذاء

شيخوخة المبيض
الآليات البيولوجية المُتحَكِّمة في العمر الإنجابي

ARABICEDITION.NATURE.COM
سبتمبر 2021 / السنة السابعة / العدد 68
ISSN 977-2314-55003

nature

NATURE ARABIC EDITION [ONLINE]

arabicedition.nature.com

للاتصال بنا:

للتواصل مع المحررين: naturearabic@nature.com

Macmillan Egypt Ltd.
3 Mohamed Tawfik Diab St.,
Nasr City, 11371
Cairo, Egypt.
Email: cairo@nature.com
Tel: +20 2 2671 5398
Fax: +20 2 2271 6207

Macmillan Dubai Office
Dubai Media City
Building 8, Office 116,
P.O.Box: 502510
Dubai, UAE.
Email: dubai@nature.com
Tel: +97144332030

NAE Riyadh office
Leaders Tower 1,
7853 takhassusi,
Al Olaya, Riyadh
12333 3214,
Saudi Arabia.

رسالة رئيس التحرير

إطلالة على آفاق العلوم

أهلًا بكم في عدد ربع سنوي جديد من دورية «*Nature* الطبعة العربية»، لنعرض لكم مختارات من أهم ما نُشِر في دورية *Nature* الدولية خلال الفترة من يوليو إلى سبتمبر 2021، وإضاءات على آفاق تَقدُّم العلوم.

اخترنا غلاف هذا العدد ليُلقِي الضوءَ على إنجازٍ مهمٍ في مجال علم الأحياء البنيوي، فقد نجحتْ شركة الذكاء الاصطناعي «ديب مايند» DeepMind التابعة لشركة «جوجل» ومعهد المعلوماتيّة الحيويّة الأوروبيّ، في تطوير أداة ذكاء اصطناعي تعتمد على تعلُّم الآلة، أُطلق عليها «ألفا فولد2»، قادرة على توقُّع بِنْية أكثر من 20 ألف بروتين بشري، إضافة إلى جميع البروتينات المعروفة تقريبًا التي يُنتجها 20 كائن تجارب. ونعرض في هذا العدد مُلخَّص البحث الخاص بهذا الابتكار، وخبر في قسم "أخبار في دائرة الضوء" يُلخِّص -في إيجاز- ما يعنيه هذا الإنجاز في مجال علم الأحياء البنيوي، بالإضافة إلى مقال تحليلي في قسم "أنباء وآراء" تحت عنوان "ثورة في توقُّع البِنى البروتينية" يتناول بالتفصيل مزايا هذه الأداة وعيوبها.

وإلى جانب هذا الإنجاز العلميّ المذهل، تتنوَّع المواضيع في أقسام المجلة لتشمل مختلفة المجالات العلمية. ففي قسم "أخبار في دائرة الضوء"، وتحت عنوان " مكتسَبات أفغانستان العلمية في مهبّ الريح"، نستطلع وضع مجتمع العلوم في أفغانستان بعد عودة جماعة طالبان إلى سُدَّة الحكم، وفرار عديدٍ من العلماء إلى خارج البلاد، كما نستعرض تقريرًا بالغ الأهمية، أعدَّته منظمة الأمم المتحدة، بخصوص آخِر تطورات علوم المناخ، يُوضِّح أن استمرار تعويل المجتمعات الحديثة على الوقود الأحفوري قد تَسبَّب في تفاقم ظاهرة احترار كوكب الأرض بوتيرة لم نشهدها خلال الألفي عام الماضية، تحت عنوان « الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيُّر المناخ: درجات حرارة الأرض تصل إلى أعلى معدلاتها منذ 125 ألف عام». كما نتأمّل صورة شفق المريخ المتألق التي التقطها مسبار «أمل الإماراتي» وما تكشف عنه.

وفي قسم التحقيقات، نتعرّف إلى جهود علماء الفيروسات لتسمية نونليونات من أنواع الفيروسات الموجودة على ظهر كوكب الأرض وتصنيفها، فضلًا عن رصد أدوارها في الأنظمة البيئية العالمية، في تحقيق تحت عنوان «الفيروسات وتنوّعاتها المبهرة». ومع دخولنا ما يمكن أن نطلق عليه عصر السيارات الكهربائية، نستعرض في تحقيق تحت عنوان «تحدِّي بطاريات السيارات الكهربائية» الجهودَ المبذولة لتخطِّي التحديات الخاصة بإعادة تدوير بطاريات هذا النوع من السيارات، وترشيد استهلاك المعادن النادرة في تصنيعها، وخفض تكلفتها. وتحت عنوان «الآثار الفتَّاكة للحَرّ على البيئات الحضرية»، نعرف مزيدًا عما يُطلق عليه "الظلم البيئي" وما يقوم به العلماء لوضع مُخطط يُوضِّح أوجه الارتباط بين الأصل العِرْقي والفقر والحَرّ في المدن، والحلول المطروحة للحدِّ من المخاطر التي تتأتَّى مع هذه العلاقة.

أما في قسم «كتب وفنون»، فتأخذنا هايدي ليدفورد في رحلة للتعرف إلى خبايا السباق المحموم بين فريق «أوكسفورد-أسترازينيكا» وأقرانه، لتطوير لقاح يُنقذ البشر من خلال استعراض كتاب «صانعو اللقاح» *Vaxxers* والفيلم الوثائقي: «اللقاح» *The Vaccine*. كما تستعرض أليسون أبوت كِتاب «العقل الممتد» *The Extended Mind* للكاتبة العلمية آني ميرفي بول، التي توضِّح من خلاله العلاقة بين الجسد والعالم من حولنا والعقل، وما لهذه العلاقة من تأثير في تحديد مدى ذكاء الإنسان.

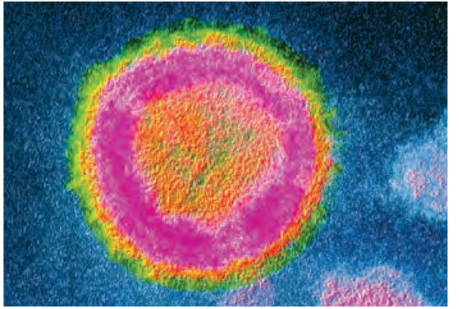
وفي قسم «أخبار وآراء»، يستعرض ماثيو بي. جرينبلات وشاوون ديبناث، تحت عنوان «آليات تؤسس لشيخوخة الهيكل العظمي في الخلايا الجذعية»، دراسة حديثة بيَّنت أنه في الفئران الشائخة تفقد الخلايا الجذعية الهيكلية قدرتها على توليد الخلايا المُكوِّنة للعظم، التي تُعرَف باسم الخلايا البانية للعظم، وتحفِّز -بدلًا من ذلك- توليد خلايا تُؤدِّي إلى ارتشاف العظم، تُسمَّى الخلايا الآكلة للعظم. وتحت عنوان «منسوجات تتحوَّل من الحالة المرنة للصلبة تحت تأثير الضغط»، يتناول لوران أورجياس بالتحليل بحثًا أفاد مؤلِّفوه بتمكّنهم من ابتكار منسوجات تتكوَّن من طبقات، قوام الطبقة الواحدة جسيمات ثلاثية الأبعاد متداخلة؛ في ما يمكن أن يُعَدّ نسخة عالية التقنية من دروع الزَّرَد التي شاع استخدامها بين فرسان العصور الوسطى، والتي لدى تعريضها للضغط تتحول من منسوجات مرنة لأغلفة صلبة. ويمكن أن تكون لهذه المنسوجات الاستثنائية تطبيقات نافعة في الطب والهندسة. وعلى صعيد الاستدامة وتحت عنوان «كيف نواجه نقص الغذاء في المُدن؟"، تستعرض زيا مهرابي دراسة تبحث في الحلول المتنوِّعة للتعامل مع المخاطر الناتجة عن نقص الغذاء وتنويع سلاسل الإمدادات لتفادي الصدمات الغذائية.

رئيس التحرير
علياء حامد

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

المحتويات


البشر يميلون إلى السرقة من الجماعة وإعطاء الفرد ص.12


الفيروسات وتنوّعاتها المبهرة ص.26


التفكير خارج الدماغ: كتاب جديد عن «العقل الممتد» ص.42

افتتاحيات

رؤية عالمية

أضواء على البحوث

موجز الأخبار

أخبار في دائرة الضوء

تحقيقات

تعليقات

كتب وفنون

مهن علمية

حيث أعمل

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

أبحاث

أنباء وآراء



عن الغلاف

قوة البروتين

البروتينات أساسية للحياة، وفهم بنيتها ثلاثية الأبعاد مهمٌ لفك طلاسم وظائفها. وإلى الآن تغطِّي التجارب 17% فقط من البروتيوم البشري. وفي هذا العدد تساعدنا ورقتان بحثيتان على توسيع فهمنا الهيكلي للبروتينات. يقدم باحثون في شركة «ديب مايند»، التابعة لشركة «جوجل» والتي تتخذ من لندن مقرًا لها، أحدثَ نسخة من الشبكة العصبية «ألفا فولد». فباستخدام تصميم جديد بالكامل مبني على معرفة حدسية بالطبيعتين الفيزيائية والهندسية للبروتين، تستطيع هذه الشبكة العصبية توفير توقّعات بنيوية غاية في الدقة، كما أُشيد بهذه الشبكة في مسابقة «التقدير التوقّعي لبنى البروتين» بدورتها الرابعة عشرة في ديسمبر الماضي، كونها تمكّنت من حلِّ مشكلة توقّع بنى البروتين القائمة منذ أمد طويل. طبَّق الفريق تقنية «ألفا فولد» على 20,296 تنبؤ بنى بروتينية، ما يمثل 98.5% من البروتيوم البشري. وأُتيحت التنبؤات مجانًا بالشراكة مع المعهد الأوروبي للمعلوماتية الحيوية (https://alphafold.ebi.ac.uk/)، بالإضافة إلى تنبؤات إضافية للبروتينات البشرية الطويلة، ولنماذج عشرين كائنًا آخر.
صفحة 46 و55

صورة الغلاف: «ديب مايند»

ملخصات الأبحاث

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

nature

حان الوقت لتوسيع مفهوم "صحة المرأة"

تستحق الأبحاث في هذا المجال مزيدًا من الاهتمام، ليس فقط فيما يتعلق بأمراض الصحة الإنجابية.

يعاني أكثر من ثُمن سكان العالم من حالة مرضية قد تسبِّب الألم، والنزيف الشديد، والحَدّ من الخصوبة، وجميعها عواقب محتمَلة لأورام حميدة، معروفة باسم أورام العضلات الملساء الرحمية، أو أورام الرحم الليفية. وقد تكون الأورام الليفية مُنهِكة، وهي سبب شائع لاستئصال الرحم جراحيًّا.

ومع ذلك، لم يُولِ العلماءُ الأورامَ الليفية إلا اهتمامًا محدودًا نسبيًّا، سواء في الأوساط الأكاديمية، أم في شركات الأدوية. وظل السبب الرئيس لتلك الحالة المرضية وكيفية الحدّ من تأثيرها على الخصوبة مثار جدل لعقود، وهو ما ترك الأطباء المعالجين لها في حيرة إزاء أفضل طريقة لعلاج المصابات بها.

لسوء الحظ، لا تُعَد الأورام الليفية سوى واحدٍ من العديد من الجوانب الصحية غير المدروسة في الإناث (ويشمل مصطلح الإناث النساء غير المتحولات جنسيًّا، والرجال المتحولين جنسيًّا، وبعض الأشخاص ضمن النظام الجنسي غير الثنائي، وثنائيِّي الجنس. ويشير مصطلح "النساء" في بقية هذا المقال إلى النساء غير المتحولات جنسيًّا). وتميل الدراسات الإكلينيكية وقبل الإكلينيكية على حد سواء إلى التركيز على الرجال، فنجد أن الأشخاص المشاركين في التجارب الإكلينيكية المتعلقة بأمراض القلب والأوعية الدموية لا تمثل النساء إلا ثلثهم، ووجد تحليل لدراسات علم الأعصاب، نُشر في ست دوريات علمية خلال عام 2014 أن 40% من تلك الدراسات شمل الذكور فقط. كما نُشرت دراستان وتحقيق مطوّل في دورية *Nature* في الخامس من أغسطس الماضي، سلَّطَت الضوء على الإنجازات البحثية في مجال صحة المرأة، والحاجة إلى الكثير من الإنجازات الأخرى في هذا الصدد.

وتبحث إحدى الدراستين سالفتي الذكر في الأصول الجزيئية للأورام الليفية، وتكشف عن آلية محتملة لتكوُّن هذه الأورام. وقد تستطيع الأدوية التي تستهدف العناصر الجزيئية التي تلعب دورًا رئيسًا في هذه العملية – بعد إجراء المزيد من الدراسات – أن توفر خيارات علاجية جديدة.

أما الدراسة الأخرى، فتتبنى نهجًا متعدد التخصصات في بحث الآليات الوراثية والعوامل الوبائية التي تسهم في عملية شيخوخة المبيض، التي تؤدي إلى انقطاع الطمث وفقدان الخصوبة. ويختلف العمر الذي تتعرض فيه النساء لانقطاع الطمث اختلافًا كبيرًا، حيث يصل مدى هذا الفارق العمري بين النساء الأصحاء إلى حوالي 20 عامًا. وقد تنخفض الخصوبة بشكل كبير لفترة تصل إلى عقد من الزمان قبل هذا الانقطاع.

وقد أدّت هذه الدراسة الأخيرة إلى اتساع قائمة الجينات التي تسهم في شيخوخة المبايض المبكرة، كما تبرز أهمية استخدام آليات إصلاح الحمض النووي في تحديد العمر الذي تشهد فيه النساء انقطاع الطمث.

وتوضح الدراستان التقدم الذي يمكن إحرازه عند إبراز التحديات الصحية التي تواجه المرأة، بيد أن المدافعين عن صحة المرأة يحذِّرون من أن هذا المجال لا يزال ينظر إليه في كثير من الأحيان من زاوية ضيقة للغاية، إذ ينبغي ألا تقتصر دراسة الصحة والمرض عند النساء على الأمراض التي تصيب النساء فقط. وعلى سبيل المثال، تؤثر بعض الحالات المرضية، مثل مرض السكري من النوع الثاني، ومرض آلزهايمر، وأمراض القلب على الرجال بشكل مختلف عنه بين النساء. ويجب دراسة هذه الأمراض لدى كل من الرجال والنساء، مع إدراك أن تشخيصها واحتمالات تطوُّرها وعلاجها قد تكون مختلفة بين الجنسين.



ينبغي ألا تقتصر دراسة الصحة والمرض عند النساء على الأمراض التي تصيب النساء فقط".

على سبيل المثال، تُعد النوبات القلبية السبب الرئيس للوفاة بين كل من النساء والرجال، إلا أن النساء لا يعانين دائمًا الأعراض "التقليدية" التي تظهر عادةً عند الرجال. كما أن النساء أكثر عرضة للإصابة بجلطات الدم بعد النوبات القلبية. ومع ذلك، تكون احتمالية وصف أطبائهن الأدوية المضادة للتجلط لهن أقل. ووفقًا لمؤسسة القلب البريطانية، فإن النساء أكثر عرضة بنسبة 50% من الرجال لتَلَقِّي تشخيص مبدئي خاطئ بعد إصابتهن بالنوبات القلبية، كما إن احتمال وصف الأدوية لهن للحدّ من خطر الإصابة بنوبة ثانية يكون أقل بينهن منه لدى الرجال.

وفيما يتعلق بالرياضة، تواجه النساء خطر التعرض لإصابات خطيرة طويلة الأمد، إذا واصلنا نمذجة التدريبات وعلاج إصابات الرأس بناءً على بيانات من الرجال. فوفقًا لأحد تقاريرنا الإخبارية، بدأ يتجلى بصورة متزايدة أن النساء يختبرن إصابات الرأس ويتعافين منها بشكل مختلف تمامًا عن الرجال. وثمة حاجة إلى إجراء أبحاث في العديد من التخصصات، إذا أردنا أن نفهم السبب الذي يجعل احتمال تعرُّض النساء لارتجاج في المخ أثناء الألعاب الرياضية، مثل كرة القدم، والرجبي، أكبر بمعدل الضعف تقريبًا مقارنةً به بين الرجال، وفهْم سبب استغراق النساء وقتًا أطول للتعافي من هذه الإصابات.

وحتى الآن، تتسم الشواهد الدالة على هذه الأسباب بنُدْرَتها، لكن البيانات الأولية تشير إلى اختلافات بنيوية في الدماغ، إذ يجري توصيل المحاور العصبية في أدمغة النساء بأنابيب دقيقة أقل سمكًا منها لدى الرجال، وهي تتمزق بسهولة أكبر. ويُعتقد أيضًا أن التقلبات الهرمونية تسهم في شدة هذه الإصابات. كما يُحتمل أن الميكانيكا الحيوية تلعب دورًا أيضًا في ذلك. وعلى سبيل المثال، في لعبة الرجبي، يبدو أن النساء يسقطن على نحو مختلف عندما يطرحهن الخصم أرضًا، وهو ما قد يعزز خطر الإصابة بارتجاج في الدماغ. وقد تساعد أنظمة التدريب المصمَّمة خصيصًا للنساء في التخفيف من حدة هذه الإصابات.

إنّ مفاد رسالة الباحثين في مجال الرياضة واضح بما لا يدَع مجالًا للشك، وهو أنه لم يعد من المقبول استخدام بيانات من الرجال فقط في هذه الدراسات. وعندما يجري تضمين النساء في هذه الدراسات، يجب الفصل بين البيانات وتصنيفها حسب الجنس، وإشراك عدد كافٍ من النساء. فجدير بالذكر أن دراسة حديثة تنظر في صور التصوير الشعاعي بالرنين المغناطيسي لصفوة من لاعبي الرجبي تضمنَتْ نساء (K. A. Zimmerman *Brain Commun*. **3**, fcab133; 2021)، إلا أن عددهن بلغ ثلاث نساء فقط من بين 44 لاعبًا.

وفضلًا عن أن النقص النسبي للنساء في لجان مراجعة المِنَح والمجالس الاستشارية العلمية يعني أن القليل من المعنيين بصناعة هذه القرارات لديهم خبرة شخصية مباشرة بالاحتياجات الصحية للمرأة، أو بوجود فجوات بحثية، فهذا يعطي أهمية أكبر لقيام هيئات التمويل بطلب مشورة جماهيرية عند تحديد الأولويات البحثية.

وتجدر الإشارة إلى أنه منذ عام 2016، طلبت معاهد الصحة الوطنية الأمريكية من الباحثين إجراء دراسات المراحل قبل الإكلينيكية في كل من الحيوانات والأنسجة والخلايا الخاصة بالذكور والإناث على حد سواء، أو تقديم تفسير لعدم ملاءمة دراسة كلا الجنسين. واليوم، نجد أن الأمر منوط بجهات التمويل الأخرى، والباحثين، والدوريات العلمية، لتعزيز هذا التغيير، من خلال الحرص على الإفادة بالبيانات الخاصة بالنوع الجنسي في الدراسات المنشورة. كما يجب على هيئات التمويل أيضًا دعم توفير الموارد لدراسات الصحة والمرض لدى النساء، وتتبُّع مقدار الأموال التي تُنفق لمساندة هذه الأبحاث في جميع المجالات، وليس مجرد أبحاث أمراض النساء، فبالمعايير تُنجَز المهام.

nature

على المدن أن تحمي سكانَها من درجات الحرارة الحارقة

تُبرِز موجات الحر التي تتعرض لها أمريكا الشمالية ضرورة أن يأخذ مسؤولي التخطيط الحضري مشكلة الحر اللافح بعين الاعتبار عند وضع الاستراتيجيات الرامية إلى التأقلم مع تغيُّر المناخ.

شهدت المناطق الغربية من الولايات المتحدة وكندا خلال يونيو 2021 موجة حر تُعَد هي الأسوأ في تاريخها. ففي يوم 29 يونيو، وصلت درجة الحرارة في قرية ليتون الكندية إلى ما يقرب من 50 درجة مئوية، بزيادة هائلة قدرها نحو 5 درجات مئوية عن أعلى درجة حرارة سُجِّلَت محليًّا، ليندلع في اليوم التالي حريق يلتهم معظم أنحاء القرية عن بكرة أبيها، ويسفر عن مصرع شخصين. وفي أماكن أخرى، لقي مئات الأشخاص حتفهم في مدن فانكوفر، وبورتلاند، وسياتل خلال نفس موجة الحر التي استمرت ثلاثة أيام.

ومع ارتفاع درجات الحرارة العالمية، تتزايد أيضًا مخاطر الحر المفرط، الذي يُعرَّف بأنه فترات تكون فيها درجات الحرارة في منطقةٍ ما مرتفعة بشكل غير طبيعي، مقارنة بالمتوسط. ولطالما شكَّل الحر تهديدًا للحياة الحضرية، خاصة مع وجود الأسطح الماصة للحرارة، مثل الإسفلت، وهي التي تتسبب بدورها في ارتفاع مستوى الزئبق، ولكنّ تغيُّر المناخ كان سببًا في تعقيد الأمر أكثر؛ إذ أصبحت موجات الحر تَحْدُث بوتيرة أكبر وأكثر حدة مما كانت عليه في الماضي. ومع ذلك، تجذب هذه الظاهرة قدرًا محدودًا للغاية من الاهتمام، مقارنة بظواهر أخرى تُنبئ بمخاطر تغير المناخ. ويقول الباحثون إنه لولا الاحترار العالمي الذي تسبب فيه الإنسان، لكان حدوث موجة حر كتلك التي شهدتها منطقة شمال غرب المحيط الهادئ "ضربًا من المستحيل"، (انظر: go.nature.com/3xatcgw).

وعلى الرغم من أن الحر قد يتسبب في وفاة الإنسان أينما كان، فإن ذلك الخطر يتعاظم في المدن على وجه الخصوص. وحسب تقديرات إحدى الدراسات التي عُرضت ضمن مؤتمر في ديسمبر الماضي، فإن معدل تَعَرُّض الناس للحر المفرط في أكثر من 13 ألف مدينة زاد بأكثر من الضعف في الفترة بين عامي 1983، و2016. كما أشارت تقديرات دراسة أخرى نُشرت خلال العام الماضي إلى أن درجة حرارة الهواء في اثنتين من المدن، وهما: جاكوب آباد في جنوب باكستان، ورأس الخيمة في الإمارات العربية المتحدة، قد ارتفعت بالفعل إلى مستوى يفوق قدرة الجسم البشري على البقاء على قيد الحياة في أكثر الأيام حرارة ورطوبة هناك (C. Raymond *et al*. *Sci*. *Adv*. **6**, eaaw1838; 2020).

ولطالما حذَّر باحثو المناخ من أن الاحترار العالمي يزيد احتمالية تكرار حدوث موجات حر كتلك التي شهدتها أمريكا الشمالية في هذا العام، وهو ما يعني أن مسؤولي التخطيط الحضري عليهم بذل المزيد من الجهود، لإدراج مسألة الحَرّ المفرط ضمن العوامل التي تدخل في صياغة الاستراتيجيات الرامية إلى التأقلم مع تغير المناخ.

بعض السُّلطات المحلية في المدن تأهبت بالفعل لمثل هذا السيناريو. وقد كانت مدينة أحمد آباد في غرب الهند من بين تلك المدن. فبعد موجة حر مدمِّرة شهدتها في عام 2010، وضعت المدينة خطة عمل تتألف من ثلاثة عناصر، هي: زيادة وعي السكان بكيفية حماية أنفسهم من الحر المفرط، ووضع نظام إنذار مبكر يعتمد على تنبؤ خبراء الأرصاد بحدوث موجة حر، وتدريب الطواقم الطبية على التعرف بشكل أفضل على الأشخاص الذين يعانون من الحر المفرط، وعلاجهم. ويشير أحد التقديرات إلى أن تلك الخطة أنقذت حياة 1190 شخصًا سنويًّا، مما أدى إلى اتباع نهج مماثل في أكثر من اثنتي عشرة مدينة أخرى في جميع أنحاء الهند.



"تحتاج الحلول المناخية إلى أن يتم تنفيذها بفعالية وكفاءة على نطاق المدينة بأكملها، حتى يكون لها تأثير ملموس."

ثمة فكرة أخرى، تُعرف باسم "الأسقف الباردة"، وهي تلك الأسقف المطلية باللون الأبيض، أو المغطاة بمواد عاكسة للطاقة تمتص كَمًّا أقل من الحرارة، ويمكنها أن تقلل درجات الحرارة داخل المباني بمقدار 2-5 درجة مئوية، مقارنةً بالسقف التقليدي.

مِثْل هذه الحلول المناخية تحتاج إلى أن يتم تنفيذها بفعالية وكفاءة على نطاق المدينة بأكملها، حتى يكون لها تأثير ملموس. ولكي يحدث ذلك، يجب على الحكومات أن تشترط على المسؤولين عن صناعة البناء دمج تقنيات تخفيف آثار الحر في مشروعات البناء الخاصة بهم من خلال تَبَنِّي برامج تمنح المباني الاعتماد الحكومي، إذا ما استوفت شروط البناء الأخضر، أي الصديق للبيئة. كما يمكن أيضًا تقديم الإعانات للمباني الخضراء؛ ففي مدينة برشلونة بإسبانيا، على سبيل المثال، تدعم السُّلطات 75% من تكاليف 10 مشروعات جديدة لعمل أسطح خضراء في المدينة.

في الوقت نفسه، يجب على المدن أن تُوجِّه الجهود الرامية إلى تخفيف آثار الحر إلى مساعدة أولئك الأكثر تضررًا من موجات الحر. ويشمل ذلك الأشخاصَ الذين يعيشون في الأحياء ذات الدخل المنخفض، وهي أحياء غالبًا ما حُرمت، تاريخيًّا، من وجود حدائق، وشوارع تصطف على جانبيها الأشجار، وغير ذلك من المساحات الخضراء الأخرى التي تُعَد عنصرًا شائعًا في المناطق الأكثر ثراءً. وقد وجد العلماء أيضًا ارتباطات مروِّعة بين العِرْق والتعرض للحَرّ في مدن الولايات المتحدة. وتشير الدراسات إلى أن سياسات الماضي في مجال التخطيط الحضري قد جعلت المجتمعات السكانية التي يقطنها الملونون أكثر عرضة للإصابة بالأمراض المرتبطة بالحر، أو الموت، مقارنة بسكان الأحياء التي يغلب عليها البِيض.

ممرات باردة

وفي المقابل، تُعَد باريس إحدى المدن الرائدة في تطبيق مفهوم "المساواة الحرارية"؛ حيث يعمل المسؤولون على بناء شبكة من "جُزر التبريد" - التي تشمل مساحات لحدائق ومسابح، على سبيل المثال – تغطي المدينة بأكملها، وترتبط فيما بينها بممرات باردة.

في الوقت نفسه، استهدفت مدينة ميديلين في كولومبيا المناطق ذات الدخل المنخفض في المدينة بزراعة الأشجار؛ حيث تمت زراعة أكثر من 10 آلاف شجرة على طول 36 "ممرًّا أخضر"، مما أدى إلى انخفاض درجة حرارة السطح بمقدار درجتين مئويتين. ويجب على المسؤولين الحكوميين الاستمرار في تتبُّع نتائج هذه التجارب، والاستفادة من أفضل الأدلة المتاحة على نجاحها في تخضير مدنهم.

وقد شهد هذا الأسبوع إعلان رؤساء بلديات 31 مدينة، كلها ضمن شبكة "سي 40" العالمية للمدن التي تعمل على مكافحة تغير المناخ، اِلْتِزامَهم بأنْ يتمكن 70% من سكان مدنهم من الوصول إلى مساحة عامة خضراء أو زرقاء فيما لا يزيد على 15 دقيقة سيرًا على الأقدام، أو باستخدام دراجة، وذلك بحلول عام 2030. وينبغي أن تضمن عمليات المساءلة السنوية وجود معيار يُقَيِّم ما تم إحرازه من تقدم ملموس نحو تحقيق هذا الهدف الطموح.

وفي جميع الأحوال، يجب على حكومات المدن والحكومات الإقليمية تنظيم جهود مكافحة الحر بشكل أفضل، فلا فائدة من الاستجابةُ لمخاطر الحر بعد وقوعها؛ إذ لا يوجد مجال للتصرُّف بعد الوصول إلى تلك المرحلة التي تكتظ فيها المستشفيات بالأشخاص المصابين بضربة الشمس، وتنهار شبكات الكهرباء تحت وطأة زيادة الطلب على أجهزة تكييف الهواء، ويبدأ الأطباء الشرعيون في إحصاء الجثث. إنّ كل حالة وفاة بسبب الحر يمكن مَنْعها إذا ما توفرت للشخص سبل الوصول إلى الظل، أو الماء، أو أي وسيلة أخرى للتبريد.

ونظرًا إلى أننا على أعتاب مستقبَل سوف تكون موجات الحر فيه طويلة الأمد، وشديدة، ومتكررة الحدوث بشكل أكبر من أي وقت مضى، يجب على المدن تصعيد جهودها في التخطيط لمواجهة الحر المفرط. ويجب أن تكون تلك الجهود على نفس مستوى الاستعدادات لكوارث أخرى، مثل الزلازل، والفيضانات، والأعاصير. وهذا لا ينطبق فقط على المدن الاستوائية، ولكن أيضًا على تلك المدن التي تقع في مناطق معتدلة المناخ. ففي نهاية الأمر، من كان له أن يتعامل مع الحر بجدية كعامل خطر رئيسي في مدينة فانكوفر، وهي التي تقع على خط عرض يزيد على 49 درجة شمالًا؟ ومع ذلك، فبعد موجة الحر القاتلة التي شهدتها المدينة في شهر يونيو الماضي، يعمل المسؤولون هناك الآن على دمج الحر المفرط في خطط الطوارئ الخاصة بهم. وهذا هو السبيل الوحيد للمُضي قدمًا.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

nature

الذكاء الاصطناعيّ يترك بصمة أبدية في مجال علم الأحياء البنيوي

سوف تغيُّر تقنيّات تعلُّم الآلة من فهم العلماء لآليّات طيّ البروتين. ولذلك، من الضروريّ فتح السبل أمام توفير بيانات في هذا الصدد.

"ما كنت أظن أن العلم قد يصل إلى هذه النقطة في حياتي". هكذا عقّب قائد إحدى الفرق البحثيّة المتخصصة في مجال علم الأحياء البنيوي على دراسة نُشرت في شهر يوليو الماضي، استُخْدِمَ فيها الذكاء الاصطناعي لتوقُّع بِنْية أكثر من 20 ألف بروتين بشري، إضافة إلى جميع البروتينات المعروفة تقريبًا التي ينتجها 20 كائن تجارب؛ مثل بكتيريا الإشريكية القولونية *Escherichia coli*، وذباب الفاكهة، وفطر الخميرة، وكذلك فول الصويا، والأرز الآسيوي. ويبلغ مجموع هذه التنبؤات حوالي 365 ألف تنبؤ[1].

هذه البيانات، التي أُتيحت وأُعلن عنها لأول مرة (انظر: .https://alphafold ebi.ac.uk)، أصدرها على الإنترنت فريق بحثي بشركة «ديب مايند» DeepMind – وهي شركة متخصصة في تقنيات الذكاء الاصطناعيّ يقع مقرها في لندن، وتملكها شركة «ألفابيت» Alphabet، الشركة الأمّ لشركة «جوجل» Google – ومعهد المعلوماتيّة الحيويّة الأوروبيّ، الكائن في مختبر علم الأحياء الجزيئي الأوروبيّ (EBI-EMBL) بالقرب من مدينة كامبريدج بالمملكة المتحدة.

طوَّر فريق شركة «ديب مايند» أداة تستخدم تقنية تعلُّم الآلة، تسمَّى «ألفافولد» AlphaFold، ودرَّبها على التعرُّف على تسلسلات الحمض النووي، بما في ذلك تاريخه التطوريّ، والأشكال المعروفة بالفعل لعشرات الآلاف من البروتينات التي اختُزنت بياناتها في قاعدة بيانات معلنة للبِنى البيولوجية البروتينية، يستضيفها على الإنترنت باحثو معهد المعلوماتية الحيوية الأوروبي، التابع لمختبر علم الأحياء الجزيئي الأوروبي. وقبل ذلك بأسبوع، كانت شركة «ديب مايند» قد نشرت أيضًا الكود المصدري لأداة «ألفافولد»، وقدَّمت شرحًا تفصيليًّا لكيفيّة تصميمه[2]، وذلك في الوقت نفسه الذي نشر فيه باحثون من جامعة واشنطن في سياتل تفاصيل عن برنامج آخر لتوقُّع البِنى البروتينيّة - مُستوحى من «ألفافولد» - يُسَمَّى «روز تي تي إيه فولد» RoseTTAFold (المرجع 3).

وما كان الإعلان عن قائمة البِنى البروتينيّة المتوقعة تلك ليُعَد بأي حال نبأً سارًّا إلى هذا الحد، لولا الإفصاح عن بياناتها والمنهجيّة البحثيّة التي استُخدمت في وضعها، وإتاحتها مجانًا. وقد بدأ بالفعل اختصاصيو علم الأحياء البنيوي وباحثون آخرون في استخدام أداة «ألفافولد» للوصول إلى نماذج أدقّ للبروتينات التي استعصى - أو استحال - توصيفها بالطرق التجريبيّة الحالية.

إسراع وتيرة توقُّع البِنى البروتينية

ظل توقُّع الشكل ثلاثيّ الأبعاد الذي تتخذه البروتينات في عملية طيّها أحد "أكبر التحدّيات" التي استعصت على الحل في علم البيولوجيا منذ اكتشاف بِنية الحمض النوويّ نفسه في عام 1953. وتجدر الإشارة إلى أنه قبل ابتكار تقنيات الذكاء الاصطناعيّ، كانت عمليّة توقُّع البِنى البروتينيّة من تسلسل الحمض النووي عمليّة تستهلك الكثير من الوقت والجهد، ولا تضمن بدرجة كبيرة الحصول على نتائج دقيقة. والبيانات الجديدة التي أنتجتها هذه العملية لا تزال بحاجة لإثباتها وتأكيدها تجريبيًّا. أما أدوات الذكاء الاصطناعيّ، فقادرة على توقع البِنى البروتينيّة بدقة خلال مدة تتراوح من دقائق إلى عدة ساعات، مقارنة بالشهور أو السنوات التي كانت تستغرقها محاولة تحديد بِنْية بروتين واحد أو اثنين. وهذا يفتح آفاقًا لتطبيقات مختلفة، مثل هندسة الإنزيمات لتحليل الملوِّثات البيئيّة، مثل البلاستيك المجهري.



"أدوات الذكاء الاصطناعيّ قادرة على توقع البِنى البروتينيّة بدقة خلال مدة تتراوح من دقائق إلى عدة ساعات".

لـم تعتمـد الطفرة العلمية التي أعلن في شـهر يوليو الماضي على مشـاركة بيانـات معلنـة فحسـب، بـل قامت كذلك عـلى خطـوات أُحـرزت في العلوم والتقنيّات الأساسـيّة. فمنذ ستينيات القرن العشرين، سلك اختصاصيو علم الأحيـاء البنيـوي عـدة منهجيّـات بالتـوازي معًـا لفهـم الآليـات العلمية وراء طـيّ البروتينـات. وقد تضمنت تلـك المنهجيّات التوصل إلى البِنى البروتينية مـن خـلال فهـم آلياتهـا الفيزيائيـة الكامنـة. وتمثلـت محاولة أخـرى في توقُّع أشكال البروتينـات بعقـد مقارنة بينها وبـين البروتينات الأقـرب صلة لها، من خـلال الرجـوع إلى التاريـخ التطوريّ للكائـن الحيّ. كمـا كان لتقنيّات التصوير الشـعاعي دور شـديد الأهميّة، بدءًا من التصوير البلوريّ بالأشـعة السـينيّة، حـتى التصوير بالمجهـر الإلكـتروني فائـق التبريـد حاليًّـا، بيـد أن المعـارف الأساسـية الـتي يرتكـز عليها علـم الأحياء البنيـوي ما زالت تكتنفها إشـكاليات تتطلـب وضـع حلـول لهـا. فرغـم أن تقنيـات الـذكاء الاصطنـاعيّ مفيـدة في اسـتحداث نتائـج دقيقـة في المجـالات العلميـة والتكنولوجيـة، إلا أنهـا (حتى الآن عـلى أقـل تقديـر) لا تفسِّر كيفيـة حـدوث تلك النتائج أو أسـبابها. وعلينا تهنئـة الفـرق البحثيّـة في شركـة «ديب مايند»، ومعهـد المعلوماتيـة الحيوية الأوروبي، وجامعة واشـنطن، والجهات البحثية الأخرى على إنجازاتها العلمية بالغـة الأهميـة في هـذا الصـدد. ومع ذلـك، تجـدر الإشـارة إلى أن الكثير من الأبحـاث لا تـزال تنتظـر إجراءهـا للكشـف عـن الأسرار العلميـة وراء الخواص البيولوجيـة والكيميائيـة والفيزيائيـة الأساسـية الـتي تتحكـم في آليـات عمليـة طـيّ البروتينـات، وأسـباب هـذه العمليـة.

أهمية البيانات المُعلنة

يشبِّه البعض هذه الاكتشافات الحديثة من حيث أهميتها بوضع أول خريطة مبدئية للتسلسل الجينومي البشريّ قبل 20 عامًا. والحق أن هناك أوجه تشابه بالفعل، فكل من «مشروع الجينوم البشريّ» Human Genome Project، وقائمة شركة «ديب مايند» لتوقعَّات البِنى البروتينيّة البشريّة يزودان مجاليهما بأداةٍ مُعَدة لإسراع وتيرة الاكتشافات بدرجة كبيرة.

وقد جاءت أول خريطة مبدئيّة للجينوم البشريّ نتيجة لسباق. وتأتى حل ألغاز عملية طيّ البروتينات بدوره نتيجة منافسة سنويّة تسمَّى «التقدير التوقعيّ للبِنى البروتينية» Critical Assessment of Protein Structure Prediction (أو اختصارًا CASP)، وقد كانت منافسة ضروريّة للحصول على نتائج في هذا الصدد.

احتاجت الفرق البحثية في عصرنا الحالي - تمامًا مثل الفرق البحثيّة في الأيام المبكرة لتعيين التسلسل الجينومي – إلى وصولٍ مفتوحٍ إلى البيانات. وقد صارت شركة «ديب مايند» مثالًا يُحتذى به في هذا الصدد بإعلانها إتاحة الوصول المفتوح إلى بياناتها ومنهجيّاتها البحثيّة، وهو ما يضع المؤسسات الأخرى في هذا المجال، مثل شركة «فيسبوك»، وشركة «مايكروسوفت»، في موقف صعب لدى حجاجها دفاعًا عن سرية بياناتها.

والآن، ماذا عن المستقبل؟ على مدار الأسبوع الأخير من شهر يوليو الماضي، أجرت دورية *Nature* مقابلات مع حوالي اثني عشر باحثًا في المجال. وقد أجمعوا على أنه من المبكر جدًّا التنبؤ بدقة بتأثيرات تطبيقات الذكاء الاصطناعيّ على العلوم الحيويّة، إلا أنهم يرون أن تأثيراتها في جميع الأحوال ستكون ثورية.

إن التنبؤ بدقة بالتغييرات التي سيحدثها الذكاء الاصطناعيّ في علم البيولوجيا سيحتاج إلى بيانات تدريبيّة جيدة، وهو ما لا نملكه بعد، بيد أنه في مجال الذكاء الاصطناعيّ، يمتلك المجتمع البحثيّ المتخصص في علم الأحياء البنيوي – والجهات المتعاونة معه من المجالات الأخرى – ثروة ضخمة من البيانات الحديثة. وإضافة إلى ما يفتحه الذكاء الاصطناعيّ من أبواب للبحث، وما يوفره من بيانات، فإنه يفتح آفاقًا لتطبيق نماذج جديرة بأن تدرسها الجامعات فيما يتعلق بتنظيم البحوث وإدارتها. وبالنسبة إلى باحثي اليوم، وباحثي الأجيال القادمة، فثمة الكثير مما يجب القيام به استكمالًا لهذه المسيرة.

1. Tunyasuvunakool, K. *et al. Nature* https://doi.org/gk9kp7 (2021).
2. Jumper, J. *et al. Nature* https://doi.org/10.1038/s41586-021-03819-2 (2021).
3. Baek, M. *et al. Science* https://doi.org/10.1126/science.abj8754 (2021).

رؤية عالمية

كتب بواسطة
لي ماكلنتاير

التحدُّث إلى منكري العلم هو السبيل إلى حملهم على تغيير مواقفهم

الخوف من ردود الأفعال العكسية مبالَغٌ فيه.. ومَن يريد أن يجد أذنًا صاغية بين المشكِّكين في العلم، عليه أن يبدأ بالاستماع إليهم، والتفاعل معهم.

شاركتُ في فعاليات «مسيرة من أجل العِلم»، التي شهدَتها مدينة بوسطن بولاية ماساتشوستس الأمريكية في الثاني والعشرين من أبريل عام 2017، شأني شأن كثير من العلماء. عندما تجمهر نحو 70 ألفًا من مناصري العلم في ساحة «بوسطون كومون» الشهيرة، كانوا يتظاهرون دفاعًا عن الحقيقة، والوقائع الموثَّقة.

ولكن أين هي جموع العلماء الآن؟ فمنذ ذلك الوقت، تزايدت الأضرار الناجمة عن إنكار العلم، أو الجحود به؛ وقد رأينا كيف اشتدَّت معاناة العالم بسبب التقاعس عن التصدي للتغير المناخي، وارتفعت أعداد المصابين بمرض «كوفيد-19»، مع تصاعُد وتيرة التشكيك في اللقاحات.

لقد حرصتُ على أن يكون لي نشاط على الأرض: فتحدثتُ إلى جماعة من القائلين بسطحية الأرض، في المؤتمر الذي عُقد في مدينة دَنفِر، بولاية كولورادو الأمريكية، وتوجَّهتُ إلى المناطق الريفية بولاية بنسيلفانيا للتحدث إلى عمال مناجم الفحم بشأن التغير المناخي، وطلبت من أصدقائي العلماء القدوم معي، لكنهم لم يجيبوني إلى طلبي. كان ردهم: "لا فائدة من التحدث إلى هؤلاء... ليس في استطاعتي أن أغيّر شيئًا على أية حال". أرى أن هذا خطأ من الناحيتين الواقعية والأخلاقية؛ فهؤلاء الناس يمكن أن يغيروا آراءهم، وإنهم ليغيرونها بالفعل، إلا أن الأمر يتطلب صبرًا على انعدام الثقة.

والحقُّ أن الكثيرين من الخبراء قد انبروا متصدِّين للمعلومات الخاطئة، ومتحملين الإساءات التي وُجِّهَت إليهم عبر مواقع التواصل الاجتماعي، بل إنهم تلقَّوا تهديدات تمس سلامتهم. ولكن عندما رفض العلماء الاستجابة لدعواتي، لم يكن ذلك بسبب الخوف. في أغلب الأحيان، كانت اعتذاراتهم نابعة من الرغبة في تجنُّب "ردود الأفعال العكسية"؛ وهي نتيجة بحثية غير قابلة للتكرار، جرى التوصل إليها في عام 2010، مفادها أن الأشخاص يكونون في بعض الأحيان أكثر تمسكًا بالمفاهيم المغلوطة عند مواجهتهم بالمعلومات المُصَحِّحة لها؛ بما يعني أن مقاومة المفاهيم الخاطئة تأتي بنتائج عكسية. ومع ذلك، تلزم الإشارة إلى أنَّ حتى الباحثين الذين ضُخِّمَت نتائجهم للترويج لهذه الفكرة، أقلعوا عنها فيما بعد، وباتوا يميلون إلى الاعتقاد بأن التحدي الحقيقي إنما يكمن في معرفة الطريقة المُثلى لتقديم المعلومات المراد بها تصحيح المفاهيم الخاطئة (B. Nyhan *Proc. NatlAcad.Sci.USA* **118**, e1912440117; 2021).

وفي الأثناء، تتواتر الأدلة على أن دحض المغالطات يمكن أن يكون نهجًا فعّالًا. فمُنكِرو العلم – سواءٌ أكانوا ممن يرفضون اللقاحات، أم لا يصدقون نظرية التطور، أم يتجاهلون التغير المناخي – جميعهم يستخدمون أساليب التفكير المغلوطة نفسها؛ مثل انتقاء الأدلة التي توافق أهواءهم، والاتكاء على نظريات المؤامرة، والاستماع إلى الخبراء الزائفين، والانخراط في الاستدلال غير المنطقي، والإصرار على أن العلم لا بد أن يكون مثاليًا، ولا يحتمل الخطأ. أثبتت دراسة بارزة (P. Schmid & C. Betsch *Nature Hum. Behav.* **3**, 931-939; 2019)، نُشِرَت في عام 2019، أن مواجهة أساليب التفكير الخاطئة بالنقد والتفكيك من شأنها أن تحُدَّ من انتشار المعلومات الزائفة. (ولكن لا بد من الإشارة إلى أن هذه الدراسة لم تختبِر مدى فعالية هذا النهج في الحوارات التي تجري وجهًا لوجه، أو مع الأشخاص المتطرفين في رفضهم للعلم).

إذن، كيف يكون دحض المغالطات المنهجية على أرض الواقع؟ إليكم تجربتي. عندما شاركتُ في «المؤتمر الدولي للأرض المسطحة»، الذي عُقد في عام 2018، قررتُ أن ألزَم الصمت في اليوم الأول، رُغم ما كابدتُ من صعوبة في الإبقاء على فمي مغلقًا عندما سمعت أن القارة القطبية الجنوبية هي حائط من الجليد يحجز مياه البحر، ويمنعها من أن تغمر اليابسة. وفي اليوم الثاني، جنيتُ ثمرة صمتي في اليوم الأول؛ كنت أعلم أني لو بادرتُ إلى تقديم الأدلة، لقالوا إن الفضاء خدعة، وإن العلماء يكذبون.

صحيحٌ أنني لم أُفلح في إقناع معتنقي فكرة الأرض المسطحة بخطأ معتقدهم ذاك، إلا أنني تعلمت كيف أجعلهم يستمعون إلى ما أقول. كنت أتركهم يتحدثون، حتى إذا انتهوا من إلقاء كلماتهم، بادرتُهم بالأسئلة. وبدلًا من عرض الأدلة التي من شأنها دحض أفكارهم، سألت: "ما الدليل الذي قد يغير رأيك؟"، وإذا قالوا إنهم يريدون إثباتًا، أعود فأسألهم: "لماذا لا تكفي الأدلة المتاحة؟"، وإذا استدعَوا أيًّا من نظريات المؤامرة، أسألهم عن السبب وراء ثقتهم في الأدلة التي تقوم عليها. باتباع هذا الأسلوب، ودون الخوض في سرد الحقائق أو الاستئثار بالحديث، ألقيتُ في نفوسهم الشك، وجعلتُهم يتساءلون: لماذا لا نستطيع الإجابة عن هذه الأسئلة؟

ومن الأمور المُسلَّم بها في مضمار توصيل العلوم، أنَّ الحقائق وحدها لن تُفيدك في إقناع أحد منكري العلم؛ فأغلبهم لا يعاني نقصًا في المعلومات، وإنما ينطوي على أزمة ثقة. والثقة تُبنَى بالصبر، وإظهار الاحترام والتعاطف، وتكوين علاقات شخصية. ولأنني أمضيتُ اليوم الأول مستمعًا، كان منكرو العلم - حتى المتشددون منهم – يتطلعون إلى الاستماع إلى رأيي.

> **"لأنني أمضيت اليوم الأول مستمعًا، كان منكرو العلم – حتى المتشددون منهم– يتطلعون إلى معرفة رأيي".**

أجرى أرنود جانجور، الباحث والطبيب في جامعة شيربروك في كندا، بمعاونة زملائه، أكثر من ألف مقابلة (مدة المقابلة الواحدة 20 دقيقة) مع الآباء والأمهات الجدد، استمعوا خلالها إلى مخاوفهم بشأن اللقاحات، وأجابوا عن تساؤلاتهم. فكانت نتيجة ذلك أنْ ارتفعت احتمالات تلقِّي أطفال هؤلاء الآباء جميع التطعيمات المقررة بنسبة 9%، مقارنةً بالأطفال الذين لم يخُض آباؤهم المقابلات، ووُلدوا في نفس جناح الولادة (T. Lemaitre *et al. Hum. Vaccin. Immunother.* **15**, 732-739; 2019). ونَقل جانجور عن إحدى الأمهات قولها: "هذه هي المرة الأولى التي أشارك فيها في نقاش كهذا. وإنني لألمس الاحترام في معاملتي، وأثق بك".

إذا كان الأمر كذلك، فما الذي يتعين على العلماء القيام به؟ عليهم أن يأخذوا بأسلوب دحض المغالطات المنهجية، حتى غير المتخصصين منهم. يمكن لعالم جيولوجيا، مثلًا، أن يستميل جاره المتردد في تلقّي اللقاح. كما يمكن لعالم متخصص في البروتينات الحيوية أن يوجِّه النصح والإرشاد لعمِّه الذي هو في حاجة إلى مزيد من الأدلة على أن التغير المناخي ظاهرة حقيقية. وعوضًا عن الانخراط في النقاشات العارضة، لك أن تخوض حوارًا جادًا، على أن يكون قائمًا على الاحترام المتبادَل. وإذا أنفقتَ مزيدًا من الوقت في طرح الأسئلة، بدلًا من الإسهاب في الشرح والتفسير، فسوف تجد الناس أكثر ترحيبًا بما تطرح من تفسيرات، وأكثر إصغاءً إليها.

أين يكون المكان المناسب لفعل ذلك؟ حيثما وُجِدَ منكرو العلم. بادِر ببدء حوار في أثناء انتظارك في طابور في الصيدلية، أو اقترِح على مدرسة أطفالك أن تُلقي فيها كلمةً في هذا الشأن، أو – إذا كنتَ طموحًا – انضمّ إليَّ في المؤتمر المقبل لجماعة القائلين بسطحية الأرض.

مَن يسعى إلى إحداث فارق، عليه أن يتعلم كيف يفعل ذلك. له أن يلتمس ذلك في «مركز آلان ألدا للتوصيل العلمي»، الواقع في قرية ستوني بروك بولاية نيويورك، و«مركز المشاركة المجتمعية في العلوم»، التابع لجامعة سينسيناتي في ولاية أوهايو. ربما لا يحمل لك هذا النهج نفس القدر من الارتياح الذي تشعر به عند الهتاف مع أقرانك المشاركين في مسيرة للدفاع عن العلم، ولكنه يمكن أن يكون أجدى، وأمضَى أثرًا.

لي ماكلنتاير باحث حاصل على الزمالة من مركز الفلسفة وتاريخ العلم بجامعة بوسطن، بولاية ماساتشوستس، ومؤلف كتاب سيصدر قريبا تحت عنوان: «كيف تتحدث مع منكري العلم؟ محاورات مع القائلين بسطحية الأرض، ومنكري التغير المناخي، وغيرهم من أعداء العقل» *How to Talk to a Science Denier: Conversations with Flat Earthers, Climate Change Deniers, and Other Who Defy Reason* (دار نشر «إم آي تي بريس» MIT Press، 2021).

RICK BERN

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

رؤية عالمية

كتب بواسطة
موسوكا فلاح



MOSOKA P. FALLAH

حتى لا تتكرر كارثة فيروس «إيبولا»: فلنضع حدًّا لطوفان الوفيات في أفريقيا

لا بد من تضافر جهود الدول الغنية، للحيلولة دون انهيار أممٍ بأكملها في قارة أفريقيا.

في الوقت الذي أسطر فيه هذا المقال، تَلْقَى أعدادٌ ضخمة من البشر حَتْفها جرّاء الإصابة بمرض «كوفيد-19». فبصفةٍ إجمالية، لم يحصل سوى 1.1% من سكان الدول منخفضة الدخل على جرعةٍ واحدة على الأقل من اللقاح. كما أن نسبة الأشخاص الذين تَلَقّوا جرعتي اللقاح في موطِني ليبيريا لا تتعدى 0.18%، في حين قفزت أعداد الحالات المسجَّلة في البلاد بنسبة 144% في الفترة بين الأول من يونيو، والواحد والعشرين من يوليو، بل ويُحتمل أن تكون هذه التقديرات أقل من الأرقام الفعلية.

المرضُ هنا أشد فتكًا منه في أي مكانٍ آخر، حيث يزيد معدل الوفيات الحالي في أفريقيا عن المتوسط العالمي بنسبة 18%، بل ويرتفع هذا المعدل بين المرضى ذوي الحالات الحرجة، إذ يُتوفى نحو نصف عدد الحالات التي تدخل وحدات العناية المُركَّزة بالمستشفيات خلال 30 يومًا (African COVID-19 Critical Care Outcomes Study Investigators *Lancet* **397**, 1885-1894; 2021).

ولكن كفانا استشهادًا بالإحصاءات، فأعداد المقابر التي تُحفَر كل يومٍ في ليبيريا تُعيد إلى الأذهان كارثة فيروس «إيبولا» في عام 2014. فمِثْل فيروس «إيبولا»، يُصيب فيروس «سارس-كوف-2» أعدادًا كبيرة من العاملين في قطاع الرعاية الصحية، ويُودِي بحياتهم بِنِسَبٍ تفوق النِّسَب المعتادة، في الوقت الذي تعاني فيه ليبيريا بالفعل من نقصٍ حادّ في أعداد العاملين في هذا القطاع.

اعتدتُ أن أجد مواقع التواصل الاجتماعي تعُجّ بمنشورات تَحمِل الأمنيات الطيبة بأعياد الميلاد وأعياد الزواج. أما الآن، فأجدها غارقة في التَرَحُّم على أرواح الموتى. لقد أوشكت الفرصة التي كان يمكن عندها للدول الغنية - المُعتمدة على أفريقيا في سداد احتياجاتها من الموارد البشرية والطبيعية - أن تهب لنجدة القارة السمراء أن تضيع.

كنتُ أشغل منصب مدير مراكز رصد الحالات المُصابة في ليبيريا أثناء أزمة فيروس «إيبولا» عام 2014 عندما لم يُحرِّك العالَم ساكنًا سوى بعد مرور ثمانية أشهر. أذكرُ كَمْ بكيتُ وأنا أزور بيوتًا فَقَدَت عائلات بأكملها بسبب الفيروس. وها أنا الآن أمضي الكثير من وقتي في دعوة زعماء العالم إلى تجنُّب تكرار الأخطاء التي ارتُكِبت خلال جائحة «إيبولا». وقد انصَبّ تركيزي مؤخرًا على تمكين دول غرب أفريقيا من الحصول على حصةٍ أكبر من الأجهزة اللازمة لإمداد المرضى بالأكسجين بطرقٍ آمنة. وتعاني تلك الدول أيضًا نقصًا في إمدادات الأكسجين.

دعوني أحكي لكم عن أَخين يرتادان الكنيسة نفسها التي تصلي فيها خالتي. أصغرهما رب أسرة، يحظى بالاحترام في الحي الذي يعيش فيه. أُصيب هذا الرجل بالمرض في أحد أيام الاثنين، وقد شُخِّصت حالته خطأً على أنها إصابة بالملاريا، وحمى التيفود، وهما من الأمراض الشائعة هنا، ومن ثم تَلَقّى العلاج لهذين المرضين. وبالرغم من أن الحكومة كانت قد أطلقت بالفعل تحذيراتٍ من التزايد السريع لأعداد المصابين بمرض «كوفيد-19»، لم يدرك الرجل وأسرته والقائمون على رعايته خطورة الموقف سوى يوم الأربعاء، حينما أُصيب بضيقٍ في التنفس، فنُقل سريعًا إلى أحد المستشفيات الخاصة. لم يستطع الرجلُ الحصول على الأكسجين بالمستشفى الخاص، نظرًا إلى أن جميع أسطوانات الأكسجين الموجودة به كانت قيد الاستخدام بالفعل من قبل عدد من مرضى «كوفيد-19»، لتقف أسرته مكتوفة الأيدي تراقب

> **"نحن نواجه نقصًا في اللقاحات، ونلهثُ من أجل البقاء على قيد الحياة".**

موسوكا فلاح هو المدير العام السابق للمعهد الوطني للصحة العامة في ليبيريا، ويعمل مستشارًا بنظام التعاقد لدى المعهد الوطني الأمريكي للحساسية والأمراض المُعدية.
البريد الإلكتروني: mfallah1969@gmail.com

ابنها المسكين وهو يموت مختنقًا. ثم جاءت المهمة الصعبة المتمثلة في البحث عن مكانٍ لجسده في دور تجهيز الموتى. أما أخوه الأكبر، الذي كان قد عاد إلى ليبيريا ليَتقاعد، بعد أن اختتم حياته المهنية في الولايات المتحدة، فقد وافق على التكفُّل بجميع النفقات، غير أنه تُوفي جرّاء إصابته بمرض «كوفيد-19»، حتى قبل أن تتمكن الأسرة من إتمام جنازة الابن الأصغر.

صحيحٌ أن أفريقيا لم تتأثر كثيرًا بالجائحة خلال عام 2020، لكن الوضع مختلفٌ في العام الحالي، فنحن نواجه نقصًا في اللقاحات، ونلهث من أجل البقاء على قيد الحياة.

ولو أن دول الشمال الغنية كانت قد أوفت بوعودها ووفَّرت اللقاحات، لكان بإمكاننا إنقاذ الكثير من الأرواح، غير أن أفريقيا حصلت حتى مطلع يوليو الماضي على أقل من 50 مليون جرعة فقط من إجمالي 700 مليون جرعة كانت قد وعدت بها مبادرة «كوفاكس» COVAX لهذا العام. وفي حين لا يزال الاحتمال قائمًا بوصول تلك الشحنات بحلول شهر ديسمبر، سيكون قد فات الأوان حينذاك بالنسبة إلى كثيرين.

كنت أرى الناس يموتون في الشوارع إبان أسوأ فترات تفشي فيروس «إيبولا» في ليبيريا خلال أشهر أغسطس، وسبتمبر، وأكتوبر من عام 2014، حيث تركَنا العالَم نصارع تهديدًا صحيًّا عالميًّا بمفردنا. وقتها، كانت الوحدة الصحية المُجهَّزة لعلاج 34 مُصابًا بفيروس «إيبولا» تستقبل 74 مريضًا، وكان على المرضى أن ينتظروا حتى يُتوفى أحد النزلاء، كي يُفسح لهم مكانًا. أما حين طال فيروس «إيبولا» الدول المتقدمة بعدد قليل جدًا من الحالات المصابة، ضُخَّ ما يقرب من 3.5 مليار دولار أمريكي لمكافحة الوباء، غير أن هذا المبلغ الضخم وصل بعد فوات الأوان، إذ كان قرابةُ 11,300 شخص قد لقوا حتفهم في غرب أفريقيا. وها نحن بعد مرور أقل من عقد من الزمان نواجه موقفًا مشابهًا.

كان رئيس المراكز الأفريقية لمكافحة الأمراض والوقاية منها قد وَجَّه نداءً في أكتوبر الماضي على صفحات دورية *Nature*، أكد من خلاله على أهمية حصول الدول الأشد فقرًا على اللقاحات، وكان ذلك قبل إتاحة اللقاحات عالميًّا (J. N. Nkengasong *et al. Nature* **586**, 197-199; 2020). وفي شهر يناير الماضي، بينما كانت الدول الغنية تتأهب لبدء حملات توزيع اللقاح، شاركتُ في تنظيم دعوةٍ من أجل التحرك، بالتعاون مع 30 خبيرًا في مجال مكافحة فيروس «إيبولا»، و81 متخصصًا من المتخصِّصين في مجال الصحة العالمية، وإدراكًا منا بالخطر الذي يُشكِّله مرض «كوفيد-19» في أفريقيا، تَقَدَّمنا بالتماسٍ نحثّ فيه جمعية الصحة العالمية على اتخاذ إجراءاتٍ تضمن حصول الدول الأفريقية على اللقاحات. فلماذا إذًا لا زلنا ننتظر؟

بوصفي مواطنًا أفريقيًّا، دَعُوني أقول إنّ عالَمنا كما نعرفه على شفا الانهيار، فنحن نشهد الآن أعدادًا مهولة من الوفيات، كما نشهد انهيار اقتصاداتٍ ودولٍ. فما هو إذًا المعنى الحقيقي للإنسانية؟ أنْ يحظى الجميع بقَدْرٍ متساوٍ من الاهتمام، بصرف النظر عن الاعتبارات الجغرافية والاقتصادية.

في أعقاب الحرب العالمية الثانية، وضعت الولايات المتحدة خطة مارشال، بهدف تمكين دول غرب أوروبا المتضرِّرة من التعافي. تلك كانت لحظةً مُلهِمة في التاريخ الإنساني. وأقول إنه يجب الحَدّ من المأساة الراهنة بوضع خطة مارشال جديدة، تشارك بمقتضاها الدول الغنية مع الدول الفقيرة اللقاحات والإمكانات التصنيعية والموارد بشكلٍ مجاني، إنْ لم يكن ذلك بدافعٍ من الضمير، فليكن بدافع تحقيق الأمن الصحي.

إنّ المناطق التي لا يُكبح فيها جماح مرض «كوفيد-19» هي ذاتها الأماكن التي سوف تشهد ظهور المتحوِّر القادم. وقد يكون هذا كفيلًا بتدمير جميع النتائج الإيجابية التي تحقَّقت بفضل حملات التطعيم المتواصلة في الدول المتقدمة.

أضواء علي الأبحاث

ESA, NASA AND FELIX MIRABEL

غسل الأيدي: أسرار فيزيائية في عملية روتينية

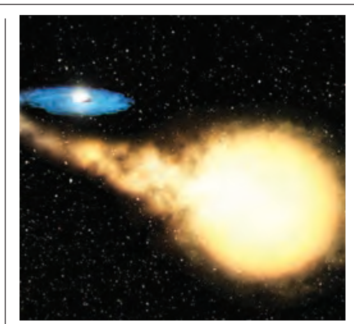
للتخلص من الفيروسات والبكتيريا المتراكمة على الأيدي، ينبغي غسل اليدين لفترة تستغرق 20 ثانية على الأقل، وفقًا لما يوصي به خبراء الصحة العامة، بمقتضى تحليل أُجري لديناميكا الموائع، التي تتضمنها عملية غسل الأيدي بالصابون.

تخفي عملية غسل اليدين البسيطة بعض الخصائص الفيزيائية المعقدة؛ فثمة سطحان خشنان، وهما الكفّان، ينزلق أحدهما في اتجاه معاكس للآخر، تفصلهما طبقة دقيقة من الماء والصابون.

ومن أجل تسليط الضوء على التفاصيل الفيزيائية، اتجه بول هاموند، وهو استشاري يقيم في بورن بالمملكة المتحدة، إلى أحد فروع ديناميكا الموائع، وهو نظرية التزليق، التي يمتد عمرها إلى 135 عامًا، وتُقدِّم وصفًا بارعًا للخصائص الفيزيائية التي تتَّسم بها طبقات الموائع الرقيقة المحصورة بين الأسطح. واستعان هاموند بقوانين هذه النظرية، لابتكار نموذج بسيط يمكن استخدامه في تقدير الفترة الزمنية المطلوبة لإزالة أي جسيمات ذات أحجام فيروسية.

أكدت النتائج أن التخلص من الكائنات الممْرِضة يتطلب بالفعل فرك اليدين لمدة 20 ثانية تقريبًا. وبالرغم من أن التحليل لم يأخذ بعين الاعتبار الجوانب الكيميائية والبيولوجية لعملية غسل االيدين، يقول مؤلف الدراسة إن هذه النتائج تشكل نقطة انطلاق مشجعة لمزيد من الدراسات.

Phys. Fluids (2021)



كيف شكلت الثقوب السوداء عنقودًا نجميًا رقيقًا؟

يتميز أحد العناقيد النجمية القديمة بـ"ذيول" طويلة من النجوم، يبدو أنها من فعل الأيادي الخفية للثقوب السوداء. فقوى الجاذبية الخاصة بهذه الثقوب تقذف النجوم بعيدًا عن مركزها، لتتلقفها القوى المجرّية وتسحب النجوم إلى مسافات أبعد فأبعد عن هذا المركز.

ويصنف علماء الفلك المجموعة النجمية المسماة "بالومار5" Palomar 5 باعتبارها عنقودًا نجميًا كرويًا، أي مجموعة شبه كروية من النجوم القديمة. وتقع هذه المجموعة على بعد حوالي 20 ألف فرسخ فلكي من الأرض، وتعد واحدة من أكثر العناقيد النجمية الكروية خفة – أو أقلها كثافةً – في مجرتنا. إلا أن مارك جيليس، من جامعة برشلونة الإسبانية، وفريقه البحثي يشيرون إلى وجود أدلة توحي بأن هذا العنقود النجمي كان في السابق أعلى كثافةً بكثير.

أنشأ الباحثون نموذجًا يوضح كيف يُحتمل أن طائفة متنوعة من العناقيد النجمية - التي تتسم بمدار يماثل مدار مجموعة "بالومار 5" - قد تطورت على امتداد فترة تبلغ 11.5 مليار سنة. وتبين أن نقاط بداية تكوُّن العناقيد التي تطورت لتشكل أقرب العناقيد شبهًا بمجموعة "بالومار 5" وأذيالها النجمية هي العناقيد التي نشأت داخلها ثقوب سوداء وبقيت في مواقعها، بحيث ساعدت جاذبيتها على دفع النجوم لمسافات بعيدة لتكوين العنقود الرقيق الذي نرصده اليوم.

ويشير بحث الفريق إلى أن مجموعة "بالومار 5" بعد مليار سنة من الآن، سوف تكون قد قذفت بكل نجومها إلى خارجها، بحيث لا يبقى بها سوى الثقوب السوداء فقط.

Nature Astron. (2021)

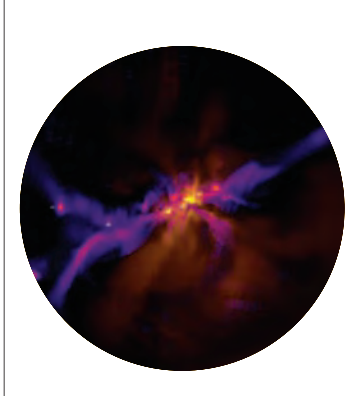
مجرّات بعيدة تحمل أدلة على لحظات الكون الأولى

إذا عرفت عُمْر شخص ما، فمِن السهل حساب تاريخ مولده. والآن، يُجري علماء الفلك هذه الحسابات لاستكشاف بعضٍ مِن أقدم مجرات الكون، وهو ما سمح لهم بتقدير تاريخ نشأة الكون، عندما ظهرت النجوم الأولى في كوننا. (موضحة في هذه الصورة التي استُمدت من إحدى عمليات المحاكاة).

أجرى نيكولا لابورت، من جامعة كامبريدج في المملكة المتحدة، وفريقه البحثي، دراسات حول ست مجرات، وصفها العلماء بأنها قد تكون موغلة في القدم. وفي سبيل تقدير عُمْر هذه المجرات، درس الفريق البحثي ضوء النجوم المنبعث منها، بحثًا عن بصمة هيدروجينية تصير أشد وضوحًا كلما تقدمت المجرات في العمر. واستطاع الفريق كذلك أن يجزم بأن الضوء المنبعث من بعض هذه المجرات يُحتمل أن يكون قد سافر على مدار 13 مليار سنة ليصل إلى الأرض، وهو ما يعني أننا نرى هذه المجرات كما كانت بعد أقل من 550 مليون سنة من الانفجار العظيم.

وتشير هذه القياسات إلى أن النجوم الأولى في هذه المجرات بدأت تتقد عندما كان عُمْر كوننا يتراوح بين 250 مليون و350 مليون سنة.

Mon. Not. R. Astron. Soc. (2021)



HARLEY KATZ, BEECROFT FELLOW/UNIV. OXFORD

ED JONES/AFP/GETTY

البشر يميلون إلى السرقة من الجماعة وإعطاء الفرد

يمكن للُعبة بحثية تُدعى «اللص الكبير» Big Robber أن تساعدنا على فَهْم الأسباب التي تجعل أحد المصرفيين يسرق أرصدة عملائه في البنك، وفي الوقت نفسه يبتاع وجبة دافئة لأحد المشرَّدين. وفقًا لهذه اللعبة، يملك البشر نزعة أنانية في التعامل مع المجموعات الكبيرة من الأشخاص، بينما يكون بإمكانهم إظهار سلوك كريم وإيثاري عند التعامل مع كل فرد على حده.

طلب كارلوس ألوس-فيرير، من جامعة زيورخ في سويسرا، وزملاؤه، من 640 شخصًا ممارسة ثلاثة أنواع من لعبة يقرِّر فيها كل مشارك قدرًا معينًا من مبلغ مالي صغير، يرغب في تحويله إلى مشارك آخر. وقد وجد الباحثون أن معظم المشاركين تبرعوا بجزء من ذلك المبلغ.

وابتكر المؤلفون أيضًا لعبة، أطلقوا عليها «اللص الكبير»، التي فيها يتخذ أحد «اللصوص» قرارًا بما إذا كان سيسرق مبلغًا يصل إلى نصف أرباح 16 مشاركًا آخر في اللعبة، أم لا. وقد استولى أكثر من 80% من بين 320 لصًا على ما لا يقل عن ثلث المال، بينما أخذ 56% أكبر قدر ممكن من المال، تمكّنوا من وضْع أيديهم عليه، وهو ما يبلغ نصف المال، أي حوالي 100 يورو (ما يعادل 118 دولارًا أمريكيًّا). لكنَّ نسبة ضئيلة، تبلغ 2% من المشاركين، رفضوا ارتكاب فعل السرقة.

وتشير النتائج إلى أنه إذا أتيحت الفرصة للأفراد، فإنهم سيُلْحِقون الضرر بمجموعة كبيرة من الناس في مقابل احتمالية ربح عالية، لكن هؤلاء الأفراد أنفسهم يمكن أن يُظهِروا تعاطفًا مع شخص واحد بمفرده.

Nature Hum. Behav. (2021)

أضواء السواحل تُنشِّط نوعًا مُميتًا من الطحالب



GETTY

الأضواء الخضراء والحمراء يمكن أن تتسبَّب في تأثيرات غير مرغوب بها على الطحالب البحرية.

يقترح بعض العلماء استخدام أضواء خضراء أو حمراء في المناطق الساحلية بديلًا عن الضوء الأبيض، بغرض حماية الحياة البرية. لكن تجارب جديدة كشفت أن التعرّض لضوء أحمر أو أخضر ليلًا، يُعزّز من نمو بعض طحالب المحيط، من ضمنها نوع معروف بقدرته على سحب الأكسجين من المياه.

لا يعرف الباحثون سوى قليل عن تأثير الضوء الصناعي في الحياة البحرية، رغم أن كثيرًا من المدن ساطعة الأضواء تقع على السواحل. وفي محاولةٍ لسد هذه الفجوة المعرفية، عرَّضت الباحثة صوفي سباثراس، من جامعة جلاسكو بالمملكة المتحدة، وزملاؤها، مزيجًا من الطحالب البحرية الميكروسكوبية، التي جمعتها من السواحل الأسكتلندية، لضوء أبيض عادي. وعرّض الفريق المزيج أيضًا لأضواء خضراء وحمراء، التي تراءى لبعضهم أنها تُقلّل من التأثيرات الواقعة على السلاحف البحرية، والطيور البحرية المهاجرة.

وجد الفريق أن جميع الأضواء الفاتحة عزَّزت من نمو مزيج الطحالب الميكروسكوبية؛ غير أن الضوء الأحمر كان له التأثير الأبرز، إذ أدى إلى مضاعفة عدد الخلايا المُنتَجة. وتغيرت كذلك نسب الأنواع في المزيج، إذ عزَّز الضوءان الأحمر والأخضر من نمو الأنواع الضارة من جنس *Skeletonema*، وهي أنواع تتسبب في انتشار طحالب لها تأثير مميت على الأسماك.

Proc. R. Soc. B (2021)

طاقة عند أطراف الأصابع: جهاز يعمل بالعَرَق

يمكن لجهاز مرن يرتديه الشخص عند طرف إصبعه أن يستخلص الطاقة من العَرَق الذي يفرزه جسمه وقت النوم، والاستفادة منها في تشغيل الأجهزة الإلكترونية الصغيرة القابلة للارتداء.

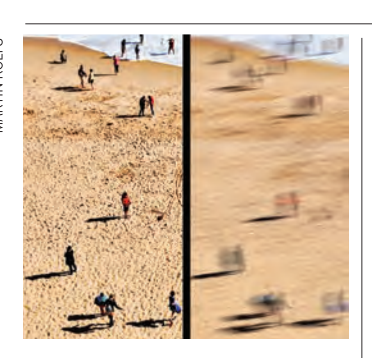
بدءًا من الساعات الذكية، وانتهاءً بأجهزة رصد الحالة الصحية، صارت الأدوات التكنولوجية القابلة للارتداء جزءًا لا يتجزأ من حياتنا اليومية، لكن العثور على مصادر ملائمة للطاقة لا تزال تمثل مشكلةً.

وسعيًا لحل هذه المشكلة، صنع جوزيف وانج، بمعاونة زملائه في جامعة كاليفورنيا بسان دييجو، جهازًا يستخلص الطاقة من المواد الكيميائية التي تخرج مع العَرق، يمكن ارتداؤه في طرف الإصبع. وخلافًا لغيره من مصادر الطاقة السابقة التي تعمل بالعَرق، لا يتطلب هذا الجهاز تحرّك الجسم من الأصل، كما أنه أفضل الأجهزة كفاءَّة حتى الآن في جمع الطاقة من الجسم، إذ يستخلص مئات الميليجولات لكل سنتيمتر مربع خلال فترة من النوم تبلغ عشر ساعات.

يجمع هذا الجهاز في أثناء فترة النوم ما يكفي من الطاقة لتشغيل جهاز استشعار، ولوحة عرض لأغراض الرصد البيئي أو الصحي. ويمكن لهذا الجهاز أيضًا أن يستخلص الطاقة من ضغطات الأصابع الخفيفة، كتلك التي تحدث أثناء الكتابة على لوحة المفاتيح، أو أزرار الهاتف المحمول.

ويأمل مؤلفو الدراسة في تحسين كفاءة جهازهم، واستمراريته، وقدرته على تحمُّل فترات تشغيل طويلة، ودمجه مع أنواع أخرى من أجهزة استخلاص الطاقة.

Joule https://doi.org/gnrq (2021)



MARTIN ROLFS

حركات العين التي تُمَكِّننا من رؤية عالمنا

عندما ننظر إلى مشهد معين، تتقافز عيوننا بسرعة من نقطة إلى أخرى، بمعدل تقديري يبلغ ثلاث قفزات في الثانية الواحدة. ورغم أننا لا نشعر بهذه القفزات فائقة السرعة، فإن التجارب تكشف عن أن مِثل هذه الحركات السريعة للعين تُنتِج معلومات بصرية تساعدنا على فهْم وتفسير العالَم المحيط بنا.

لكي تتحقق رؤية دقيقة للأشياء، تتنقَّل عين الإنسان أكثر من مرة للتركيز على الأجسام الواقعة في نطاق رؤيتها المحيطية. وينتُج عن حركات العين فائقة السرعة ما يسمى بـ«خطوط الحركة»، وهي لطخات بصرية تتكون على الجزء الخلفي من العين. ويمتد خط الحركة من وضعية الجسم الأولى على سطح شبكية العين إلى وضعيته بعد تحرُّك العين.

عرض ريتشارد شفايتزر ومارتن رولفس، الباحثان بجامعة هومبولت ببرلين، ستة أجسام مختلفة الأنماط على متطوعين، وطلبا منهم التركيز على جسم واحد فقط. وبينما كانت عيون المشاركين تتحرك صوب ذلك الهدف، تغيَّرت مواضع الأجسام، ثم عمد الباحثون إلى تغطية جميع الأجسام متماثلة النمط، بحيث يتعذر تمييزها.

نجح المشاركون في إيجاد الهدف في أغلب الحالات، لكن احتمالية نجاحهم في هذه المهمة كان أعلى في حال وَلَّدت حركة الهدف خط حركة، ما يدل على أن المعلومات المستمَدة من هذه الخطوط تساعد عيوننا المتقافزة على تعقب مواضع الأشياء.

Sci. Adv. (2021)

أضواء علي الأبحاث

مادة بالغة الخفة تتحمل صدمات فائقة السرعة

CLAUDIO TENNIE

يمكن للوح كربوني لا يتعدى سُمْكه شعرة الإنسان أن يتحمل الصدمات الناتجة عن "طلقات" بالغة الصغر، تندفع نحوه بسرعة تبلغ ضعف سرعة الصوت.

يسعى العلماء منذ فترة طويلة سعيًا جادًا لإيجاد مواد بإمكانها تحمُّل ضربات من أجسام مثل الشظايا الشاردة، والحطام الفضائي. وقد نجح كارلوس بورتيلا، من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا في كامبريدج، وجوليا جرير، من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا في ولاية باسادينا الأمريكية، وفريقهما البحثي، في تصميم شبكة تشبه قرص عسل ثلاثي الأبعاد، تملك كل خلية مفردة بها 14 جانبًا. واستخدم فريق الباحثين الطباعة ثلاثية الأبعاد لتشكيل الشبكة من بوليمر مرن، ثم عرّضوها للحرارة، بحيث لم يتبق بها سوى كربون خالص.

بعد ذلك، أطلق الباحثون نحو هذه المادة كُرَات تشبه حبات الرمال، لا يتجاوز قطرها بضعة ميكرومترات. وعند إطلاق هذه الكرات بسرعات منخفضة، لوحظ أنها ترتد عن الشبكة فحسب، أما عند إطلاقها بسرعات أعلى، فإنها نحتت "فوهات" منتظمة بها، وهشّمت الجزء السفلي من الشبكة، بينما ظلت الكرات محشورة داخل الفوهات، دون أن تخترق الشبكة.

وعن طريق إجراء تعديلات على أحد النماذج التي توضح تَشَكُّل الفوهات بفعل النيازك، يأمل الباحثون في أن يتمكنوا من التنبؤ بشكل الفوهات في المادة التي ابتكروها. ويأمل الباحثون في أنْ يلهم نموذجهم تصميمات أخرى خفيفة الوزن، مقاوِمة لتأثير الانفجارات.

Nature Mater. (2021)



إنسان الغاب الذكي يجرب مهاراته في استخدام الأدوات

لطالما اعتقد العلماء أن قردة الشامبانزي هي القردة العليا الوحيدة القادرة على سحق ثمار البندق بصورة منتظمة، مستخدِمةً في ذلك الأحجار، أو المطارق الخشبية، ما يُعَد أحد أعقد أشكال استخدام الأدوات التي أمكن رصدُها في الطبيعة. لكنّ الباحثين اكتشفوا أن قردة إنسان الغاب (تُعرف أيضًا بالأورانجوتان) تستطيع هي الأخرى استخدام المطارق في كسر ثمار البندق، وفتحها. وهي تمتلك هذه المهارة دون محاكاة لغيرها من الحيوانات.

عكفت إليسا بانديني، من جامعة توبنجن في ألمانيا، وزملاؤها، على مراقبة 12 من قردة إنسان الغاب الموجودة في حدائق الحيوانات (من نوعَي إنسان الغاب السومطري، وإنسان الغاب البورنيوي) التي قدموا لها ثمار بندق صلبة، وجذوعًا خشبية صغيرة يمكن استخدامها كمطارق. لم يسبق لأي من هذه الحيوانات أن كسرت ثمار البندق باستخدام أدوات.

لم تحاول بعض هذه القردة استخدام الأدوات الممكنة، لكن غالبيتها استخدمت الجذوع كمطارق لكسر البندق وفتحه، واستخدم ثلاثة منها جذع شجرة، أو جسمًا آخر كَسِنْدان لتثبيت البندق.

يذكر الباحثون أن أربعة حيوانات (من بينها حيوان باندانا، الموضحة في الصورة) بدأت استخدام هذه الأدوات، دون أن تشاهد أفرادًا أكثر خبرة؛ الأمر الذي يشير إلى أن قردة إنسان الغاب يمكن أن تتعلم بتلقائيةٍ استخدام الأشياء المحيطة كأدوات فعالة لتكسير البندق.

Am. J. Primatol. (2021)

العُرف الغريب للتيروصور المهرَّب

أحبطت قوات الشرطة عملية تهريب لحفريات في أكبر موانئ البرازيل، ونجحت في استعادة ألواح جيرية مُصْفَرَّة، مغروس داخلها بقايا شبه مكتملة لأحد الزواحف المجنحة المنقرضة، يُدعى التيروصور. لم يكن هذا النوع من التيروصورات يُعْرَف في السابق إلا من خلال جمجمته. وقد استطاع فيكتور بيكاري، من جامعة ساو باولو البرازيلية، وزملاؤه، التعرّف على الأشياء القديمة المهرَّبة، وأعلنوا أن الحفرية تنتمي إلى النوع *Tupandactylus navigans*، وهو ديناصور عاش قبل أكثر من 100 مليون سنة.

نادرًا ما تتحفَّر الأنسجة اللينة، لكن العينة تُظهِر بقايا الأنسجة اللينة لأغلب العُرف السَّهمي المميِّز لهذا الزاحف، الذي يفوق في طوله الجمجمة بمقدار خمس مرات. وتكشف الحفرية أيضًا عن العُرف الذقني الضخم الشبيه بالشفرة، الذي مَيَّز هذا الحيوان. وإلى جانب ذلك، فقد اكتشف الباحثون أن الأطراف الأمامية للتيروصور كانت تنبسط بحيث تصل المسافة بين الجناحين إلى 2.7 متر، وهي مسافة مذهلة.

يمتلك هذا الحيوان بِنْية، تُسمَّى العظم الظهري، توفر الدعم للهيكل العظمي في مواجهة القوى الشديدة التي يولِّدها خفق الجناحين، ما يُظْهِر أن التيروصور بصورة شبه مؤكدة كان يمارس الطيران، لكن طول الرقبة والأطراف الأمامية وضخامة العرف يشيران إلى أنه لم يكن يطير إلا لمسافات قصيرة، أما أغلب وقته، فكان يمضيه متجولًا على اليابسة بحثًا عن الطعام، وكأنه دجاجة عملاقة.

PLoS ONE (2021)



VICTOR BECCARI



CHINA PHOTOS/GETTY

إهدار الطعام يبلغ مستوًى صادمًا في الصين

أكثر من ربع المنتجات الغذائية المخصصة للاستهلاك البشري في الصين تُهدَر أثناء انتقالها خلال سلسلة الإمداد أو الأراضي، ويَؤُول مصيرها إلى أكوام النفايات.

فحص ليو جانج، من جامعة جنوب الدنمارك في أودنسه، وزملاؤه، بيانات مستمدة من عمليات المسح الميداني، وراجعوا الأبحاث المنشورة بغرض تقييم المصير النهائي للغذاء الذي تنتجه البلاد، البالغ تعداد سكانها 1.4 مليار نسمة. وخلصت تقديرات الفريق إلى أن حوالي 350 مليون طن من إنتاج المَزارِع، التي تمثل 27% تقريبًا من إنتاجها الإجمالي، يتم التخلص منه على أيدي تجار التجزئة، أو المطاعم، أو المستهلكين، أو يتلف، ويُتخلص منه قبل بلوغه مرحلة البيع بالتجزئة أصلًا.

وعلى الرغم من أن حوالي نصف هذه الكمية المهدَرة تضيع خلال عملية تخزين الغذاء ومعالجته، إلا أن تناول الطعام خارج المنزل، بما في ذلك تناوله من خلال عربات الطعام، والمطاعم، والمقاصف، ينتج 45 مليون طن تقريبًا من الطعام المهدَر سنويًّا.

لا شك أن إهدار الغذاء بهذه الكميات الكبيرة يشكل تهديدًا لأهداف التنمية المستدامة، والمحافظة على البيئة. ويقترح مؤلفو الدراسة وسائل للحدّ من هذا الهدر، كما يوصون بأنْ تَستخدِم الأُسَر المعيشية الريفية في الصين أنظمة تخزين أكثر كفاءة، وأن تقلل المطاعم الحضرية من الحصص الغذائية المقدَّمة، مع تشجيع زبائنها على اصطحاب بقايا وجباتهم معهم.

Nature Food (2021)

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

nature.com

للاطلاع على آخر الأبحاث المنشورة في *Nature* قم بزيارة
www.nature.com/latestresearch

خزان مياه هائل في أعماق قشرة الأرض



JACK LAURENSON/LNP/SHUTTERSTOCK

لا يمثل الماء العذب الذي يسهل الوصول إليه إلا جزءًا من المياه الكائنة في قشرة الأرض.

تضم أعماق قشرة الأرض كمية ضخمة من المياه القديمة المالحة، التي لم تُكتشف حتى الآن.

قام جرانت فرجسون، من جامعة ساسكاتشوان في ساسكاتشوان بكندا، وزملاؤه، بحساب الكمية التي يُفترض وجودها من هذه المياه الجوفية. وحلل الفريق قاعدة بيانات عالمية تخص أنواع الصخور التي تشكل الطبقة العلوية من قشرة الكوكب القارية، التي تمتد إلى مسافة عشرة كيلومترات. وتبيَّن أن ما يقرب من 88% منها هو صخور بلورية صلبة، و12% صخور رسوبية ذات فراغات كبيرة بين حبيباتها.

وعن طريق حساب كمية المياه التي يمكن أن تتخلل حبيبات كلا النوعين من الصخور، قدّر الباحثون أن الكيلومترات العشرة العلوية من قشرة الأرض تضم حوالي 44 مليون كيلومتر مكعب من المياه، وهو ما يفوق كمية المياه المتجمدة في الأنهار الجليدية والصفائح الجليدية في جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية.

يقع أغلب هذا المخزون الهائل على عمق يتراوح بين كيلومتر واحد و10 كيلومترات، أي بعيدًا عن نطاق الآبار التي يمكن أن تُستخرَج منها المياه؛ فالمياه الجوفية التي يعتمد عليها المزارعون في ري محاصيلهم، ويستخدمها مليارات البشر لأغراض الشرب، تقع على أعماق أكثر ضحالة بكثير.

Geophys. Res. Lett. (2021)

أيامٌ كان نبش القبور فيها فعلًا مستحسَنًا!

قبل 1500 عام، كان سكان أوروبا يُعيدون فتح قبور الموتى بانتظام، إلا أنَّ غرضهم لم يكن سرقة أي تُحَف ثمينة.

أُعيد فتح آلاف القبور الأوروبية خلال الفترة الممتدة بين القرنين الخامس والثامن بعد الميلاد؛ وهي الممارسة التي طالما اعتبرها علماء الآثار نهبًا للقبور. لكنَّ الباحثة أليسون كليفناس، من جامعة ستوكهولم، أعادت تحليل البيانات الخاصة بعشرات من مواقع الدفن القديمة في شتى أرجاء أوروبا، من ترانسيلفانيا في رومانيا إلى جنوب شرق إنجلترا، بالتعاون مع زملائها. ووجد الباحثون أن التقليد الذي انطوى على إعادة فتح القبور قد انتشر في أثناء القرن السادس، وبلغ ذروته في القرن السابع.

ويبدو، من النتائج التي توصَّل إليها العلماء، أن بعض القبور كانت قد فُتِحَت قبل اكتمال تحلُّل الجثث المدفونة، وفي بعض الحالات حُرِّكت الجثث دون المساس بأكفانها؛ ما يشير إلى أن إعادة فتح القبر حدثت بعد الدفن بفترة قصيرة. وفي إحدى الحالات، أضيفت جثة كلب إلى القبر.

وفي كثير من الأحيان، أزال فاتحو القبور بعض الأغراض من القبر، لكنهم عادةً ما كانوا يتركون أغراضًا قيّمة، بعضها مصنوع من الفضة والذهب، بدلًا من أخذ مقتنيات مثل مشابك الزينة المزخرفة والسيوف. وفضلًا عن ذلك، وُجدَتْ مقتنيات كثيرة في حالة مزرية، تجعلها بلا نفع أو قيمة اقتصادية. وتشير هذه النتائج، بحسب المؤلفين، إلى أن إعادة فتح القبور لم تكن بغرض السرقة، بل كانت جزءًا من طقوس دفن الموتى الشائعة وقتها.

Antiquity (2021)

ALEXANDER SPATARI/GETTY

فوائد الحمية النباتية ترتبط بكمية البروتين لا نوعيته

في نهاية الأمر، يستهلك النباتيون والخضريون (وهم الذين يعتمدون على نظام غذائي يقتصر على تناول النباتات) وأصحاب الحميات المختلطة نِسَبًا متشابهة من الأحماض الأمينية، بصرف النظر عما إذا كانت وجباتهم أكثر اعتمادًا على لحوم الأبقار، أو الفاصولياء، أو الزبادي اليوناني، ما يدل على أن نوعية البروتين ليست مسؤولة عن الفوائد الصحية المرتبطة بالحميات النباتية.

ولطالما ارتبطت الحميات النباتية بتقلص خطر الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية، ومرض السكري من النوع الثاني. وعادةً ما يستهلك الخضريون والنباتيون كميات أقل من البروتين، مقارنةً بآكلي اللحوم، لكنْ ليس واضحًا للعلماء السبب الذي يجعل للحِمْيات الخالية من اللحوم هذه الفوائد الصحية.

اكتشف مايكل مكارثر، من المعهد الفيدرالي السويسري للتكنولوجيا في زيورخ، وزملاؤه، أن حميات الخضريين والنباتيين، والحميات المختلطة تضم نِسَبًا متشابهة من الأحماض الأمينية، رغم الاختلافات في تكوين الأحماض الأمينية التي تضمها تلك الحميات. وتشير هذه النتيجة إلى أن الحالة الصحية ربما تكون أشد تأثرًا بإجمالي كمية البروتين التي يستهلكها الشخص، مقارنةً بتأثرها بنوعيته.

قام الفريق بتغذية مجموعة من الفئران على حميات تتنوع في تكوين أحماضها الأمينية وكميتها. ولاحظ الباحثون أن الفئران التي تناولت الكمية الأكبر من البروتين سجلت ارتفاعًا في مستويات السكر والدهون في الدم، مقارنةً بالفئران التي استهلكت كمية أقل من البروتين، بغض النظر عن مصدر البروتين.

Cell Metab. https://doi.org/gnrs(2021)

موجز الأخبار

اكتشاف أقصى جُزُر العالم شمالًا

كشف انزياح كُتل جليدية طافية عن وجود جزيرة قبالة ساحل صفيحة جرينلاند، يُعتقد أنها أقصى جُزُر العالم من ناحية الشمال. وقد اكتشف العلماء الجزيرة بالصدفة في أثناء رحلة استكشافية لجمْع العينات على جزيرة تُسمى أوداق، اعتُقِد سابقًا أنها أقصى جُزُر شمال الأرض.

وقد سافر فريق الباحثين بمروحية إلى النقطة التي حسبوا أن جزيرة أوداق تقع فيها، لكن لم يجدوها. وفي أثناء تَفَقُّدهم لتلك البقعة، وقعوا بالصدفةَ على جزيرة أخرى، لم يُوثق العثور عليها من قبل، تبعد عن جزيرة أوداق بحوالي كيلومتر واحد إلى الشمال.

ويبلغ طول الجزيرة 60 مترًا، وعرضها 30 مترًا، ويبلغ أقصى ارتفاع لها فوق مستوى سطح البحر حوالي ثلاثة أمتار. وهي تخلو من الحياة النباتية، ويتكون سطحها في أغلبه من الطين، وركام جليدي تَرَسَّب بفعل الأنهار الجليدية. ويأمل فريق العلماء الذي وقع على هذا الاكتشاف في تسمية الجزيرة «كيكرتاك أفانارلِك» Qeqertoq Avannarleq، وهو اسم يعني "أقصى جُزُر الشمال" باللغة الجرينلاندية.


HANNAH YOON/BLOOMBERG/GETTY

إنجازات محاربة «كوفيد» تسيطر على الجوائز العلمية

حصدت التقنيات التي وفرت للعلماء أسلحة في معركتهم ضد «كوفيد-19» اثنتين من خمس جوائز للاكتشافات غير المسبوقة، قيمة كل منها ثلاثة ملايين دولار أمريكي.

ذهبت إحدى الجوائز إلى كاتالين كاريكو (في الصورة) ودرو وايزمان من جامعة بنسلفانيا في فلادلفيا، وذلك عن اكتشافهما لآلية لتهريب الحمض النووي الريبي المرسال إلى داخل الخلايا، وهو ما أثمر عن تطوير فئة جديدة من اللقاحات. وكانت جائزة أخرى من نصيب ثلاثة كيميائيين طوروا تقنية تعيين التسلسل الجيني المستخدمة لتتبع السلالات المتحورة من فيروس «سارس-كوف-2»، وهم: شانكار بالاسوبرامانيان، وديفيد كلينرمان (وكلاهما من جامعة كيمبردج في المملكة المتحدة)، وباسكال مِيار، من شركة الأبحاث الفرنسية «ألفانوسوس» Alphanosos. ومُنحت جائزة ثالثة في مجال علوم الحياة إلى جيفري كيلي من مركز أبحاث "سكريبس" بمنطقة لاهويا في كاليفورنيا عن أبحاثه حول «الداء النشواني» amyloidosis، وهو مرض قادر على إصابة أعضاء مختلفة في الجسم، والتسبب في تكس عصبي.

أما جائزة علوم الفيزياء الأساسية، فتقاسمها هيديتوشي كاتوري من جامعة طوكيو، وجون يي من معهد الولايات المتحدة الوطني للمعايير والتكنولوجيا في بولدر بولاية كولورادو، نظير اختراعهما لساعات ذرية قائمة على الشبكات البصرية، وهي أجهزة فائقة الدقة لقياس الوقت. كذلك حصل تاكورو موتشيزوكي من جامعة كيوتو في اليابان على جائزة في مجال الرياضيات عن دوره في توسعة المفاهيم المحيطة بِبِنى من علم الجبر، تُعرف بوحدات "دي" الهولونومية.

جهات التمويل تمارس ضغوطًا على الباحثين للتكتم على النتائج

كشفت دراسة استقصائية استطلعت آراء باحثين في مجال الصحة العامة عن حالات عديدة يتم فيها التكتم على نتائج الأبحاث، وذلك في موضوعات مثل التغذية، والصحة الجنسية، والنشاط البدني، والإدمان، حيث صرح 18 في المائة من المستطلعين في الدراسة أنهم قد شعروا بأن جهات التمويل مارست ضغوطًا - ولو لمرة واحدة على الأقل - بهدف دفعهم إلى تأخير إعلان نتائج أبحاثهم، أو تغييرها، أو الامتناع عن نشرها.

وقد شارك في الدراسة 104 مشاركين من مناطق شملت أمريكا الشمالية، وأوروبا، وأوقيانوسيا، ممن قادوا تجارب لتقييم التدخلات السلوكية المصمَّمة لتحسين النتائج في مجال الصحة العامة (S. McCrabb *et al*. *PLoS ONE* **16**, e0255704; 2021)

وقد جرى الاستشهاد بهذه التجارب، التي نُشرت بين عامَي 2007، و2017، في مراجعات «كوكرين»، التي تُعَد "المعيار الذهبي" لصحة البراهين، الذي يُوجِّه عملية صنع القرار في مجال الرعاية الصحية.

وجدير بالذكر أن البحث العلمي في مجال الصحة العامة عانَى فيما مضى من تدَخُّل الهيئات الصناعية في نتائجه. لهذا، توقَّع الباحثون الذين أجروا الاستطلاع، بقيادة سام ماكراب من جامعة نيوكاسل في أستراليا، أن الأبحاث المُمَوَّلة من هيئات صناعية سوف تكون الأكثر تأثرًا بهذا التدخل، بيد أن ماكراب أضافت قائلة في هذا الصدد: "لكننا لم نجد أي حالات تدل على ذلك".

وخلال الدراسة، سُئل الباحثون عما إذا كانوا قد واجهوا أي مساعٍ للتكتم على نتائج أبحاثهم، بدءًا من مطالب بتغيير طرق التحليل المستخدَمة في البحث، أو تغيير النتائج، وصولًا إلى المطالب بتأخير النشر، أو عدم الإعلان عن النتائج، أم لم يواجهوا أيًّا منها.

وقد وجد القائمون على الدراسة أن المشاركين مالوا بدرجة أكبر إلى الإبلاغ عن تعَرُّضهم لضغوط من جهات التمويل التابعة لإدارات حكومية تسعى إلى التأثير على نتائج الأبحاث.

كيف جرى التكتم على نتائج التجارب؟

كشفت دراسة استقصائية، شارك فيها 104 من الباحثين في مجال الصحة العامة من جميع أنحاء العالم عن عدة طرق، تسعى بها جهات تمويل الأبحاث إلى التأثير على النتائج المنشورة للتجارب المعنية بتدخلات الصحة العامة

رفضت جهة التمويل نشر البحث، لأن نتائجه لم تحظ باستحسانها	9 حالات جرى الإبلاغ عنها
طالبت جهة التمويل بتغيير نتائج البحث	6
طالبت جهة التمويل بتأخير الإعلان عن نتائج البحث	5
بذلت جهة التمويل مساعيَ لهدم مصداقية أعضاء الفريق البحثي	4
طالبت جهة التمويل بحجب بعض النتائج غير المرغوب فيها	3
أُثنت جهة التمويل الباحثين عن تقديم نتائجهم إلى فئات معينة.	3
طالبت جهة التمويل بتغيير طريقة التحليل المستخدمة في البحث	2

SOURCE: MCCRABB, S. ET AL. PLOS ONE 16, E0255704 (2021).

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

nature.com
للاطلاع على آخر الأخبار من
قم بزيارة Nature
www.nature.com/news

التغير المناخي تورط في فيضانات قاتلة

HABIMANA THIERRY/ANADOLU AGENCY/GETTY

أدى التغير المناخي إلى تزايُد وتيرة سقوط الأمطار الهائلة وشدتها. ومن أمثلة هذه الأمطار تلك التي أسفرت عن الفيضانات القاتلة التي شهدها غرب أوروبا هذا العام. كان هذا هو ما خلصت إليه دراسة أجراها علماء مشاركون في «المبادرة العالمية لتحليل أسباب التغيُّر المناخي»، الرامية إلى تقييم ما إذا كان الاحتباس الحراري سببًا في الظواهر الجوية الشديدة، أم لا.

ويُذكر أن أمطارًا، بلغت في كثافتها درجة منقطعة النظير، كانت قد تسببت في فيضانات شديدة في ألمانيا، وبلجيكا، وهولندا في منتصف يوليو الماضي. وأدّت هذه الفيضانات بدورها إلى تدمير محطات يستخدمها العلماء عادةً لقياس منسوب المياه، وجمْع بيانات عنه. من هنا، اعتمدت الدراسة على بيانات سقوط الأمطار، لتقييم أثر التغيُّر المناخي. وقد أدرج العلماء تلك البيانات ضمن نماذج تدمج بين الظروف المناخية المحلية، وبيانات سقوط الأمطار على مدار التاريخ من ناحية، وبين محاكاة للمناخ في المنطقة بوجه عام من ناحية أخرى.

وتشير هذه النماذج إلى أن تغيُّر المناخ الناجم عن الأنشطة البشرية قد أدى إلي تزايُد شدة سقوط الأمطار في العواصف التي شهدتها المنطقة بنسبة تتراوح من 3% إلى 19%، مقارنة بمناخ ما قبل الصناعة، الذي كان أبرد من مناخ اليوم بـ1.2 درجة مئوية. كذلك قدَّر العلماء أنه من المتوقع أن تضرب أحداث مناخية مشابهة أي جزء من أوروبا الشرقية بمعدل مرة واحدة تقريبًا كل 400 عام.

وقد شرحت مسودة بحثية نُشرت على الموقع الإلكتروني لـ«المبادرة العالمية لتحليل أسباب التغيُّر المناخي» نتائج هذا العمل البحثي، الذي لم يُنشر بعد في دورية علمية تخضع لمراجعة الأقران.

MICHAEL STIFTER



البلدان الأفقر أشد تلهفًا للحصول على لقاحات «كوفيد»

وفق دراسة تضمنت نتائج استطلاع أُجري في عدة دول، فإن الأشخاص الذين يعيشون في دول ذات دخل منخفض يكونون عادةً أكثر استعدادًا لتلقي تطعيم «كوفيد-19»، مقارنة بنظرائهم في الولايات المتحدة.

أجرى الباحثون واضعو الدراسة استطلاعًا ما بين يونيو من عام 2020، ويناير من عام 2021، سألوا خلاله المُستطلعين عمّا إذا كانوا سيتلقون تطعيم «كوفيد-19» بمجرد إتاحته في بلادهم، أم لا، كما سألوهم عن أسباب القرار الذي سيتخذونه.

وتوصلت الدراسة إلى أن 80% من الأشخاص في عشر من الدول ذات الدخول المنخفضة والمتوسطة في آسيا وأفريقيا وأمريكا الجنوبية على استعداد لتلقي تطعيم مضاد لمرض «كوفيد-19»، مقارنة بنسبة بلغت 65% في الولايات المتحدة (J. S. Solís Arce *et al*. *Nature Med*. https://doi.org/gqh7; 2021)،

وكانت المخاوف إزاء الأعراض الجانبية للتطعيم ومدى فعاليته أهم سببين وراء رفض الأفراد لتلقيه.

ويرى القائمون على الدراسة أن هذه النتائج تؤكد أن ضمان تحقيق العدالة في توزيع لقاحات «كوفيد-19» ليس واجبًا أخلاقيًّا فحسب، وإنما هو كذلك وسيلة فعّالة لوقف انتشار الفيروس؛ فكلما انخفض مستوى تردد الأفراد في الإقبال على التطعيم، أصبح من الأيسر تطعيمهم على نطاق واسع.

صغار الخفافيش تُصدِر مُناغاة مثل الرضع من البشر

كشفت دراسة أن صغار الخفاش ذي الكيس المجنح الأكبر، واسمه العلمي *Saccopteryx bilineata*، تكتسب مهاراتها الصوتية عن طريق المناغاة على نحو يشبه الرضع من البشر. وتُعَد هذه الدراسة الأولى من نوعها التي تكتشف مناغاة رضع في حيوان ثديي ليس من الرئيسيات (A. Fernandez *et al*. *Science* 373, 923–926; 2021).

وقد سجل الباحثون 216 نوبة مناغاة لـ20 خفاشًا بريًّا رضيعًا في كوستا ريكا، وبنما، واستخدموا معدات تعمل بالموجات فوق الصوتية، لرصد مقاطع صوتية مفردة للصرخات الحادة التي يطلِقها الصغار، وتعرفوا خلالها على المقاطع الخمسة والعشرين التي ينتجها الخفافيش الكبار.

بعد ذلك، ترجم الفريق هذه المقتطفات الصوتية إلى رموز توضح نبرة الصوت وتزايُد قوته على مدار الوقت. وقد سمح ذلك لأفراد الفريق بالبحث عن ثماني سمات مفتاحية تميز المناغاة في الرضع من البشر، تتضمن تكرار المقاطع والإيقاع في الأصوات. وقد كان لمناغاة الخفافيش كل هذه السمات.

وحول ذلك، تقول أهانا فيرنانديز المؤلفة المشاركة في الدراسة، وعالمة البيئة المتخصصة في سلوك الحيوانات بمتحف برلين للتاريخ الطبيعي: "على الرغم من أن ملايين من السنين تفصل بين مسارات التطور المختلفة لكل من الخفافيش والبشر، إلا أنه من المدهش أن نرى تلك الممارسات الصوتية المتشابهة، التي تؤدي إلى النتيجة نفسها، ألا وهي اكتساب حصيلة كبيرة من المهارات الصوتية".



PHILL MAGAKOE/AFP/GETTY



بيانات جديدة تكشف أعداد ضحايا السلالة المتحورة «بيتا»

تَبيَّن أن المصابين بسلالة فيروس كورونا المتحورة «بيتا» أكثر عُرضة للوفاة من أولئك المصابين بسلالات مُتحوِّرة الأخرى. يأتي هذا استنادًا إلى أن بعض الدلائل يشير إلى أن الحالات الحرجة من «كوفيد-19» كانت أكثر شيوعًا في أثناء الموجة الثانية الناشئة عن سلالة «بيتا» المتحورة في جنوب أفريقيا مما كانت في أثناء الموجة الأولى، التي تسببت فيها صورة من أحد أسلاف فيروس«سارس-كوف-2».

وللتحقق من صحة هذا الاكتشاف، قام ليث جمال أبو رَدّاد، أستاذ الأوبئة المتخصص في مكافحة الأمراض المعدية من كلية طب ويل كورنيل في مدينة الدوحة بقطر، بإجراء دراسة حول المصابين في قطر في بداية عام 2021.(L. J. Abu-Raddad *et al*. Preprint at medRxiv https:// doi.org/grcf; 2021).

خلال تلك الفترة، كانت سلالتان آخذتان في الانتشار، هما سلالة «بيتا»، وسلالة «ألفا» التي انبثقت في المملكة المتحدة في عام 2020. ولم يقارن فريق أبو رداد بين سلالة «بيتا» المتحورة، وسلالة «دلتا» التي تجتاح العالم حاليًّا.

وقد تبين أن المصابين بالسلالة «بيتا» كانت احتمالية إصابتهم بحالة شديدة من المرض أعلى بنسبة 25% منها في أوساط أولئك المصابين بالسلالة «ألفا»، بينما كانت احتمالية احتياجهم إلى رعاية حرجة أكبر بحوالي 50%، وكانت احتمالات تَعَرُّضهم للوفاة أكبر بنسبة 57%، بيد أن هذه النتائج لم تخضع بعد لمراجعة أقران.

وينوِّه أبو ردّاد إلى أن سلالة «بيتا» تبدو أكثر مقاوَمة للاستجابات المناعية الناشئة عن اللقاحات والعدوى السابقة من باقي السلالات، بما فيها سلالة «دلتا»، وأنها قد تبدأ في إحداث الدمار مرة أخرى.

أخبار في دائرة الضوء



MARCUS YAM/LOS ANGELES TIMES/SHUTTERSTOCK

الأفغان الراغبون في الإجلاء يصطفُّون في شوارع تغمرها المياه، جاعلين وجهتهم مطار كابول.

مكتسَبات أفغانستان العلمية في مهبّ الريح

بعد عشرين عامًا من ازدهار العلم في أفغانستان، نشهد اليوم جموع الباحثين وهم يفرُّون إلى خارج البلاد. ومَن يمكث منهم لا يجد تمويلًا لأبحاثه، ويواجه خطر الملاحقة.

سميريتي مالاباتي

كان الجيولوجيّ حميد الله وايزي يعقد مقابلات للمُرشَّحين لشَغل وظائف في وزارة المعادن والبترول في العاصمة الأفغانية كابول يوم الأحد، الخامس عشر من أغسطس الماضي، حين تناهَى إليه أنَّ جماعة «طالبان» اقتحمت المدينة، وأنَّ عليه مغادرة المبنى. في الصباح التالي، رأى المُسلّحين يجُوبون الشوارع.

وايزي، الذي كان قد عُيِّن مديرًا عامًا للتنقيب واستكشاف المناجم بالوزارة، فضلًا عن عمله باحثًا في جامعة كابول بوليتكنيك يونيفرسيتي، هَالَهُ السقوط السريع للمدينة. ومنذ ذلك الحين، استحالَتْ حياتُه إلى حالة من التَعَطُّل والانتظار، يقضي أغلبها في منزله وقد غَلّق عليه أبوابه، طلبًا لما أمكن من السلامة.

في أنحاء كابول كلِّها، لا تزال أغلب الجامعات والمكاتب الحكومية مغلقة. تقول جماعة «طالبان» إنها ترغب في أن يواصل الموظفون مباشرةَ أعمالهم، ولكن ليس واضحًا كيف لذلك أن يحدث بالضبط. قال وايزي لدورية *Nature*: "إن المستقبل يكتنفه غموض كبير".

في آخر مرة وصلَتْ فيها «طالبان» - وهي جماعة أصولية – إلى سُدَّة الحُكم في أفغانستان، بين عامَي 1996 و2001، طبَّقَتْ بوحشيةٍ فهمًا متطرفًا للشريعة الإسلامية، سادت فيه الانتهاكات لحقوق النساء، وقمع حرية التعبير. وبعد الإطاحة بالجماعة في 2001، انهمرَت الأموال على أفغانستان، لتمويل النشاط البحثي فيها، وازدهرت جامعاتها.

والآن، ينتاب الأكاديميين خوفٌ على سلامتهم الشخصية. ويساورهم القلق من أن يُسدَل الستار على عملهم البحثي، وينتهي به الحال إلى الإهمال والذبول، في غياب التمويل والحريات الفردية، وفي ظل اتجاه طبقة المتعلمين إلى الفرار إلى خارج البلاد. كما يخشى بعضهم من أن يواجهوا خطر الملاحَقة، لاشتراكهم في مشروعات تعاونية دولية، أو بسبب طبيعة تخصصاتهم البحثية، أو على خلفية أصولهم العرقية.

يقول عطاء الله أحمدي، وهو باحث في مجال الصحة العامة بجامعة كاتب في كابول: "كل ما حققناه خلال الأعوام العشرين الماضية أصبحت في مهبّ الريح".

وقد أفادت تقارير إخبارية بتجميد مليارات الدولارات التي كانت مرصودة لتمويل نشاط الحكومة الأفغانية من الخارج (التي اتخذت أشكالًا عدة، مثل الأصول لدى البنك المركزي الأمريكي، أو القروض من صندوق النقد الدولي). ولم يتم الإفصاح عن موعد الإفراج عن تلك الأموال، بل لم يُعرَف إنْ كان سيُفرج عنها من الأصل، ولا كيف سيؤثر ذلك على نشاط الجامعات والباحثين، الذين أفاد كثير منهم بأنهم

لم يتقاضوا رواتبهم.

إثر تعرُّض الولايات المتحدة لهجمات إرهابية في الحادي عشر من سبتمبر عام 2001، قادت تحالفًا لغزو أفغانستان وإسقاط حُكم «طالبان». وفي العام 2004، انتُخِبت حكومة جديدة في البلاد.

ويقول كينيث هولاند إنه عندما حلّ في أفغانستان، في 2006، وجد أن "البلد يخلو تقريبًا من المشروعات البحثية، ومن أي ثقافة للبحث العلمي". كان هولاند، الذي يشغل الآن منصب عميد بجامعة «أو. بي. جندال جلوبال يونيفرسيتي» في مدينة سونيبات الهندية، قد عمل رئيسًا للجامعة الأمريكية في أفغانستان (AUAF)، ومقرها كابول، بين عامَي 2017 و2019.

آمال وتطلعات

يقول هولاند إنه منذ العام 2004، أنفق البنك الدولي، والوكالة الأمريكية للتنمية الدولية (USAID)، وغيرهما من المؤسسات الدولية، مئات الملايين من الدولارات على الجامعات الأفغانية، دعمًا لخدمات التعليم، وتدريب الأساتذة، والمعاونة في تمويل النهوض بالبحث العلمي.

يُذكَر أن أفغانستان قد شهدت إنشاء أو تجديد نحو 36 جامعة حكومية منذ العام 2010، فضلًا عن عشرات الجامعات الخاصة التي تأسست في الفترة ذاتها. وأوضح هولاند أن الجامعات الحكومية تحصل على تمويلها من وزارة التعليم العالي، التي تتلقَّى الأموال من المانحين الدوليين. أما الجامعات الخاصة، فتعتمد على الرسوم الدراسية التي تُحصَّل من الطلبة، باستثناء الجامعة الأمريكية في أفغانستان، التي تتلقى أغلب تمويلها من الحكومة الأمريكية.

تزايدت أعداد الطلبة في الجامعات الحكومية من 8 آلاف في العام 2001 إلى ما يقارب 170 ألفًا في العام 2018، رُبْعُهم من الإناث. ورغم أن مشاركة أفغانستان في الدوريات العلمية الدولية ظلت محدودة، ارتفع عدد الأوراق البحثية سنويًا من 71 ورقة في عام 2011 إلى 285 ورقة في 2019، وفقًا لقاعدة بيانات الأبحاث «اسكوباس» Scopus.

شاكاردوخت جعفري باحثة من أصول أفغانية، متخصصة في مجال الفيزياء الطبية بجامعة سيري في جلدفورد بالمملكة المتحدة. شهدت جعفري مظاهر عديدة لتحسن البحث العلمي في أفغانستان بعد 2001، مثل زيادة أعداد الطالبات المُسَجّلات في الجامعات، وارتفاع الإنتاج البحثي في طيف عريض من التخصصات العلمية، من أبحاث السرطان إلى الجيولوجيا. أما الآن، فإنها تخشى من "دخول البلاد في حالة ركود علمي".

على مدى سنوات طويلة، "اعتبر الباحثون أفغانستان ثقبًا أسود في مجال الأبحاث"، بحسب نجيب الله كاكار، الباحث في مجال الأخطار الجيولوجية في مركز العلوم الجيولوجية الألماني (GFZ)، ومقره مدينة بوتسدام الألمانية. كان كاكار واحدًا من عدد كبير من الأفغان الذين سافروا لتلقي التعليم خارج البلاد، بقصد العودة بمهاراتهم الجديدة لبناء وطنهم. وفي 2014، أسهم في تركيب أول شبكة مسح زلزالي في أفغانستان لدراسة الألواح التكتونية. وواصل دراسته تلك حتى عام 2019، حين تعذَّر الوصول لبعض الأماكن النائية بسبب النزاع المسلح.

كان في عزم كاكار وفريقه أن ينشئوا مركزًا لرصد الزلازل وما يتصل بها من أبحاث في أفغانستان، للإنذار المبكر من الكوارث الطبيعية. إلا أنهم، منذ سقوط كابول، تعتريهم حالة رعب. ويسعى كاكار، الذي يقول إنه لم ينَل أي قسط من النوم على مدى أيام، بكل ما أوتيَ من جهد إلى أن يعين زملاءه على الفرار من البلاد.

وفي الحق أن زملاءه ليسوا سوى عيِّنة لموجةٍ نزوح الباحثين الأفغان، وكلهم يسعى إلى اللجوء السياسي في بلدان أخرى. تقول روز آندرسن، التي تشغل منصب مدير بالمنظمة الحقوقية المسمَّاة «باحثون في خطر» SAR، ومقرها نيويورك، إن المنظمة تلقَّت في شهر أغسطس وحده أكثر من 500 نداء استغاثة من أفغانستان. تعمل المنظمة على مساعدة الباحثين المُهَدَّدين في بلادهم على إيجاد وظائف جامعية في أماكن آمنة.

بعض هؤلاء أكاديميون في مجال القانون، يتوجَّسون من انتقام «طالبان»، إذا ما رأت الأخيرة أن تفسيراتهم للشريعة تتعارض مع تفسيرات الجماعة. وتخشى نساء كثيرات الاستهداف، بسبب نشاطهن في مجالَي الدفاع عن حقوق المرأة، والنوع الاجتماعي (أو الهوية الجندرية). ومن الرجال مَن يخشى عقاب الجماعة، لأنه دَرّس لإناث، أو أشرف على التدريس لهن. وهناك من يخاف أن يكون في مرمى نيران «طالبان»، بسبب دراسته بالخارج، أو لعلاقاته الدولية.

وكلهم، بحسب آندرسون، "يقولون إنهم يخشون أن يكونوا مستهدفين، لا لشيءٍ إلا لأنهم يدعمون التفكير الحر والنقدي، ولأنهم متمسكون بمبادئ احترام حقوق الإنسان، ويدافعون عن حقوق المرأة". ونتيجةً لذلك، لجأ كثير منهم إلى الاختباء، أو عبور الحدود إلى البلدان المجاورة.

وتقول آندرسن إن 160 مؤسسة تعليمية حول العالم – حتى موعد نشر هذا المقال – قبِلَتْ استقبال باحثين أفغان، وناشدت المنظمة الحكومة الأمريكية وحكومات أوروبية بالإسراع في إصدار تأشيرات دخول لهؤلاء الباحثين، ومواصلة تنظيم رحلات الإجلاء إلى خارج أفغانستان.

غير أن الخروج من أفغانستان في الظروف الراهنة ينطوي على صعوبات جمَّة، لا سيما بعد توقف رحلات الإجلاء الأمريكية، بينما لا يزال عدد كبير من الباحثين المُهَدَّدين داخل أفغانستان.

الأخطار تُحْدِق بالأقليات

ينتمي القسم الأكبر من الأفغان، البالغ عددهم نحو 39 مليون نَسَمة، إلى قومية «البَشْتُون»، وإليها ينتمي أيضًا أغلب أعضاء جماعة «طالبان». ولما كان الأمر كذلك، فإن الباحثين المنتمين إلى الجماعات العرقية الأخرى يخشون التعرُّض للملاحقة.

يعمل موسى جويا، الباحث في مجال الفيزياء الطبية بجامعة طهران للعلوم الطبية في إيران، محاضرًا في كابول. يقول جويا إن انتماءه إلى قومية «الهزارة»، التي تتكلم الفارسية، يجعله هدفًا لجماعة «طالبان». كان الباحث قد خطَّط للعودة إلى كابول العام المقبل ليعمل في مركز للعلاج بالإشعاع، تموله الوكالة الدولية للطاقة الذرية، لكنَّ خطَّته تلك قد لا ترى النور. وفي الوقتِ نفسه، يقول جويا إن المكوث في إيران ربما لا يكون حلًّا، بالنظر إلى أن حصول غير الإيرانيين على وظائف في معاهد البلاد البحثية أمر عسير.

ويقول جويا، الذي ما زالت زوجته وأطفاله في أفغانستان: "إني أرى مستقبلًا مظلمًا، لا أعرف كيف أطعم أسرتي، ولا كيف أنقذهم، ولا كيف أحميهم".

ثمة إشارات قليلة على أن الأمور تحت حكم «طالبان» هذه المرة لن تكون بنفس درجة التقييد التي اتَّسم بها حكمهم في السابق. فقد صرَّح باحثون عدة بأن «طالبان» منخرطة في مشاورات مع رؤساء الجامعات، تدور حول عودة الدراسة. وهناك ما يدل على أن الجماعة قد تسمح باستمرار تعليم الإناث، على أن يُمنَع الاختلاط بينهن وبين الذكور. واستجابةً لهذا الشرط، طرحَتْ بعض الجامعات تقسيم غرف الدراسة. ومع ذلك، فقد بلَغَ السيداتِ في مدينة باميان، الواقعة غربي كابول، أنهن غير مسموح لهن بالعمل، وأن عليهن ألا يغادرن المنازل، وذلك بحسب محاضِرة وباحثة في مجال التعليم، طلبَتْ عدم الإفصاح عن اسمها.

على أنَّ الباحثين الأفغان ينظرون بعين القلق إلى مستقبل البحث العلمي في البلاد أيضًا. يخشى جويا ألا تُولي «طالبان» الأولوية للبحث العلمي، وألا تدرك أهميته من الأصل. ثم إنه لا يعلم كيف ستواصل الجامعات عملها في غياب الدعم المالي الدولي.

ومشيرًا إلى فرار باحثِي الدراسات العليا إلى خارج البلاد، يقول جويا إن "هذه كارثة كبرى"، مضيفًا: "سيخلو البلد من المتعلمين".

لم يتضح بعدُ إنْ كان المجتمع الدولي سيعترف بالحكومة الجديدة، ويواصل تقديم الدعم المالي. ولكن الباحثين يأملون ألا يَتَخَلّى عنهم داعموهم. يقول جويا: "لقد أنفقنا كل ما لدينا من مالٍ وجهدٍ ووقت في أفغانستان، من أجل بناء مستقبل أفضل لأنفسنا وأبنائنا. ولكن طريقة الانسحاب الأمريكي من البلاد دمرت حياتنا، وقوَّضَت آمالنا وطموحاتنا".



MARCUS YAM/LOS ANGELES TIMES/GETTY

مقاتلو «طالبان» يجوبون شوارع كابول.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية



ALY SONG/REUTERS/ALAMY

تسببت الأمطار الغزيرة في فيضانات غير مسبوقة في مدينة تشنجتشو بمقاطعة هِنان بالصين في شهر يوليو الماضي.

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيُّر المناخ: درجات حرارة الأرض تصل إلى أعلى معدلاتها منذ 125 ألف عام

يؤكد هذا التقييم بالغ الأهمية على أن غازات الدفيئة هي بلا شك السبب وراء الظروف المناخية القاسية التي يشهدها العالم، موضحًا أنه ما زال بإمكان دول العالم السيطرة على آثارها المدمرة.

جيف تولفسون

أوضح تقرير بالغ الأهمية، أعدته منظمة الأمم المتحدة، حول آخِر تطورات علوم المناخ أن استمرار تعويل المجتمعات الحديثة على الوقود الأحفوري قد تَسبَّب في تفاقم ظاهرة احترار كوكب الأرض بوتيرة لم يشهدها الكوكب خلال الألفي عام الماضية. وقد أخذت تداعيات هذه الظاهرة تتجلى بالفعل في موجات الجفاف غير المسبوقة، وحرائق الغابات، والفيضانات التي تدمر المجتمعات العمرانية في شتى أنحاء الأرض. كما ذكر التقرير الذي صدر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيُّر المناخ (IPCC)، التابعة لمنظمة الأمم المتحدة، أنه من المتوقع تدهوُر الأوضاع المناخية في حال استمرار انبعاثات غازات الدفيئة، بينما أكد على أن مستقبل كوكب الأرض يعتمد اعتمادًا كبيرًا على الاختيارات التي تقررها البشرية في الوقت الحاضر.

تعقيبًا على ذلك، قال زويبين جانج، اختصاصي علم المناخ من المؤسسة الكندية للبيئة الواقعة في مدينة تورنتو بمقاطعة أونتاريو، وأحد مَن اضطلعوا بدورٍ رئيس في تنسيق التقرير وإعداده ليَصْدُر في التاسع من أغسطس الماضي: "تتوفر أدلة على ذلك في كل البقاع. وإذا لم نتحرك الآن، فإن الوضع سيسلك منحى سيئًا للغاية".

وقد شارك أكثر من 200 باحث في وضْع هذا التقرير، الذي استغرق إعداده عدة سنوات، وأَقَرّته 195 دولة خلال اجتماع افتراضي عُقد في الأسبوع الأول من شهر أغسطس الماضي. ويُعَد هذا التقرير الأول من بين ثلاثة تقارير تنصرف لتقييم الوضع الراهن للتغيُّر المناخي، والجهود الساعية لتخفيف حدّته، والتكيف معه. وتأتي هذه الوثيقة ضمن التقييم السادس للمناخ الذي تجريه الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيُّر المناخ منذ عام 1990. وقد صدرت قبل فترة تقل عن ثلاثة أشهر من القمة الدولية المقبلة للمناخ، المقرر انعقادها في جلاسجو بالمملكة المتحدة، والمزمع أن يُسنح خلالها للحكومات وضْع تعهدات بالحدّ من انبعاثاتها الكربونية، وتصحيح الأوضاع المتردية.

في ذلك الصدد، تقول فاليري مايسون-ديلموت، اختصاصية علم المناخ من مختبر العلوم المناخية والبيئية في بلدية جيف-سور-إيفيت الفرنسية، والمديرة المشارِكة للمجموعة البحثية المتخصصة في العلوم الطبيعية، التي وضعت التقرير الحالي، إنه لو أمكن الوفاء بالتعهدات التي قطعتها عدة دول على نفسها خلال السنوات الماضية بالقضاء على الانبعاثات الكربونية تمامًا بحلول عام 2050، فسوف يتمكن العالَم من تحقيق الهدف الذي نص عليه اتفاق باريس للمناخ في عام 2015، والذي يقضي بتقليص

مقدار الاحترار العالمي، ليصل خلال القرن الواحد والعشرين إلى 1.5 درجة مئوية فوق معدلات عصور ما قبل الثورة الصناعية. وتضيف قائلة: "القرارات التي نتخذها الآن ستحسم أي ظروف مناخية سوف نواجهها مستقبلًا".

احترار كوكب الأرض

ارتفعت درجة حرارة سطح الأرض بمقدار 1.1 درجة مئوية، مقارنةً بمتوسط درجات الحرارة بين عامي 1850 و1900، وهو معدل ارتفاع لم تشهده الأرض منذ 125 ألف عام، أي منذ الفترة التي سبقت العصر الجليدي الحديث. وتُعَد هذه إحدى الحقائق الصادمة التي يوردها الملخص الملحق بتقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيُّر المناخ، الذي استهدف صناع السياسات حول العالم.

يشدد التقرير بصفة عامة على أهمية الجهود الرامية إلى تحديد مدى ارتفاع درجات الحرارة المتوقع في حال استمرار انبعاثات غازات الدفيئة بالغلاف الجوي، كما يقدم لعلماء المناخ أدق التنبؤات حتى يومنا هذا للتغيرات التي سوف تطرأ على المناخ خلال القرن الواحد والعشرين. وتُعَد "درجة التغير المناخي" من أهم المؤشرات التي يستخدمها الباحثون في وضع تنبؤاتهم، وهي مقياس يحدد مقدار الاحترار المتوقع على كوكب الأرض على المدى الطويل، نتيجة لتضاعُف تركيز الانبعاثات الكربونية داخل الغلاف الجوي، مقارنة بمستوياته خلال عصور ما قبل الثورة الصناعية. وبالرغم من أن أكثر توقعات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيُّر المناخ تفاؤلًا فيما يخص مقدار هذا الاحترار تنبأ باحترار قدره 3 درجات مئوية، فالتقرير يدحض بعض الشكوك حيال هذا الرقم، إذ يفيد بأن المدى المتوقع لهذا الاحترار يتراوح بين 2.5 و4 درجات مئوية، استنادًا إلى وسائل متعددة، مثل سجلات المناخ القديمة والحديثة. وفي المقابل، تراوح المدى الأوسع لـ"درجة التغير المناخي"، الذي أوردته الهيئة في تقريرها السابق، الذي صدر في عام 2013، ما بين 1.5 و4.5 درجة مئوية.

ويعزز حصر "درجة التغيّر المناخي" ثقة العلماء في تنبؤاتهم لما سوف يحدث على كوكب الأرض، التي تتمثل في عدة سيناريوهات، أحدها يصف حالةً تكُون فيها الانبعاثات الكربونية متوسطة، ولا تختلف فيها التطورات المناخية العالمية كثيرًا عما هو حادث الآن. يفيد التقرير على سبيل المثال بأنه في تلك الحالة سوف يرتفع متوسط درجات الحرارة العالمية بمقدار يتراوح ما بين 2.1 و3.5 درجة مئوية، وهو معدل أعلى كثيرًا من المدى الذي يتراوح بين 1.5 درجة مئوية ودرجتين مئويتين، الذي حددته الدول التي وَقَّعت على اتفاقية باريس للمناخ في عام 2015 كهدف لها. وحتى في ظل سيناريو تتخذ فيه الدول إجراءات صارمة للقضاء على انبعاثات غازات الدفيئة فيها، يتوقع التقرير تجاوز درجات الحرارة العالمية للحد الأدنى لهذا المدى البالغ 1.5 درجة مئوية خلال السنوات القادمة، وذلك قبل أن تعاود درجات الحرارة العالمية الانخفاض إلى مستويات أقل مع اقتراب نهاية هذا القرن.

من هنا، تساءل مايسا روهاس، وهي واحدة ممن اضطلعوا بدور رئيس في تنسيق إعداد التقرير، ومديرة مركز أبحاث التأقلم مع التغيُّر المناخي، التابع لجامعة تشيلي بمدينة سانتياجو: "هل لا يزال بإمكاننا وضع حد لمقدار الاحترار العالمي، بحيث لا يتجاوز 1.5 درجة مئوية؟"، وتجيب قائلة: "لو لم نتخذ خطوات فورية، وسريعة، وواسعة، للحدّ من الانبعاثات الدفيئة كافة، سيصبح من المستحيل خفْض مقدار الاحترار العالمي إلى 1.5 درجة مئوية".

تداعيات خطيرة

يضع التقرير قائمة بالآثار المرعبة التي لحقت بكوكب الأرض جرّاء التغيُّرات المناخية، والتي نلمسها بقوة بالفعل على اتساع الكوكب. فقد انحسرت رُقعة الجليد البحري في القطب الشمالي في أواخر فصول الصيف على مدار العقد الماضي مقارنة بما كانت عليه طيلة ما لا يقل عن 1000 عام. كما أن كوكب الأرض لم يشهد مثل هذا التراجع المطرد في مساحات الأنهار الجليدية خلال الألفي عام الماضية. وقد تسارعت معدلات ارتفاع درجة حرارة المحيطات بوتيرة لم يشهدها الكوكب منذ نهاية العصر الجليدي الحديث قبل حوالي 11 ألف عام.

"تتوفر أدلة على ذلك في كل البقاع. وإذا لم نتحرك الآن، فإن الوضع سيسلك منحى سيئًا للغاية"

وإلى جانب هذه الإحصائيات الصادمة، يؤكد تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيُّر المناخ أهم الخطوات التي أحرزها العِلْم في فهم التداعيات الإقليمية للتغيرات المناخية. ومن بين هذه الخطوات، تحديد المناطق الأكثر تأثُّرًا بالارتفاع الحاد في درجات الحرارة، والأمطار، والجفاف. وعلى سبيل المثال، نجد أن موجات الجفاف الشديد قد ضَربت مناطق متعددة حول العالم، بيد أن الآثار الأعنف حَلّت في مناطق البحر المتوسط، وجنوب غرب أفريقيا.

وقد صرّح جانج بأنه مع ارتفاع درجات الحرارة في المستقبل، فسوف تزداد حدة الظروف الجوية القاسية. ومع أن مناطق البر قد شهدت تكرار موجات الارتفاع الحاد في درجات الحرارة بمعدل مرة كل خمسين عامًا خلال القرون الماضية، يفيد التقرير بأنه في حال ارتفاع درجة حرارة الأرض بمقدار درجتين مئويتين فوق المستوى الذي كانت عليه خلال عصور ما قبل الثورة الصناعية، فسوف تحدث هذه الموجات - على الأرجح - بمعدل مرة كل ثلاثة أو أربعة أعوام. وعندئذ، يتحتم على العالم أن يتوقع مواجهة أحداث مناخية مركّبة، مثل تزامن حدوث موجات ارتفاع الحرارة مع فترات الجفاف الطويلة.

وتعقيبًا على ذلك، يقول جانج: "لن نواجه ضربات حدث مناخي واحد، بل ضربات أحداث مناخية متعددة تقع في آن واحد".

تغيرات مناخية يستعصي علاجها

يفيد التقرير بأن تأثير الاحترار العالمي على المساحات التي تكيف ببطء مع ارتفاع درجات الحرارة، مثل الأنهار الجليدية، والصفائح الجليدية، والمحيطات، سوف يستمر وسوف نظل نلمس آثاره لعدة قرون، بل لعدة ألْفِيّات. فمِن المتوقع أن ترتفع مستويات البحار حول العالم بمقدار يتراوح ما بين مترين إلى 3 أمتار خلال الألفي عام القادمة، حتى لو تمكّنا من الحفاظ على معدل الاحترار عند 1.5 درجة مئوية، على أن يصل هذا الارتفاع إلى 6 أمتار في حالة وصول معدل الاحترار إلى درجتين مئويتين، وهو ما سوف يغيِّر طبيعة السواحل برمّتها، التي يسكنها في الوقت الحالي مئات الملايين من البشر.

ويُحَذّر التقرير من حتمية نشوء بعض التداعيات الحادة الناجمة عن احترار المناخ، مثل انهيار الصفائح الجليدية، أو الانحسار الحاد في مساحة الغابات، أو التغير المباغت في حركة جريان المحيطات، وهي تداعيات من المتوقع أن تحدث بوجه خاص كجزء من السيناريوهات التي يُتوقع فيها تزايد انبعاثات غازات الدفيئة، وحدوث ارتفاع كبير في درجات الحرارة مع اقتراب نهاية القرن الحالي. بيد أن التقرير يشير كذلك إلى أنّ تأثير تصدِّي البشر للتغيرات المناخية يبقى من أهم النقاط التي لا يمكن الجزْم بها في جميع التنبؤات المناخية.

وبالرغم من أن الهيئة دأبت طيلة ثلاثة عقود على التحذير من مخاطر الاحترار العالمي، لا تزال الحكومات مطالَبة باتخاذ الخطوات اللازمة للتحوُّل نحو مصادر الطاقة النظيفة، والسيطرة على الانبعاثات الكربونية. وفي ذلك الصدد، يقول جانج إن الأوضاع قد تكون على وشك التغير، حتى لو كان الدافع وراء التغيير يُختزل في أن البشر في أنحاء العالم كافة قد بدأوا يلمسون بأنفسهم تداعيات التغيرات المناخية حولهم.

ويستطرد جانج قائلًا: "إن التغيرات المناخية واقع يحدث حولنا، ويشهد البشر آثاره بالفعل"، مضيفًا: "إن التقرير يقدم لعموم الأفراد دلائل علمية ليس إلا، على أنّ ما نشعر به حولنا حقيقة، وليس خيالًا".

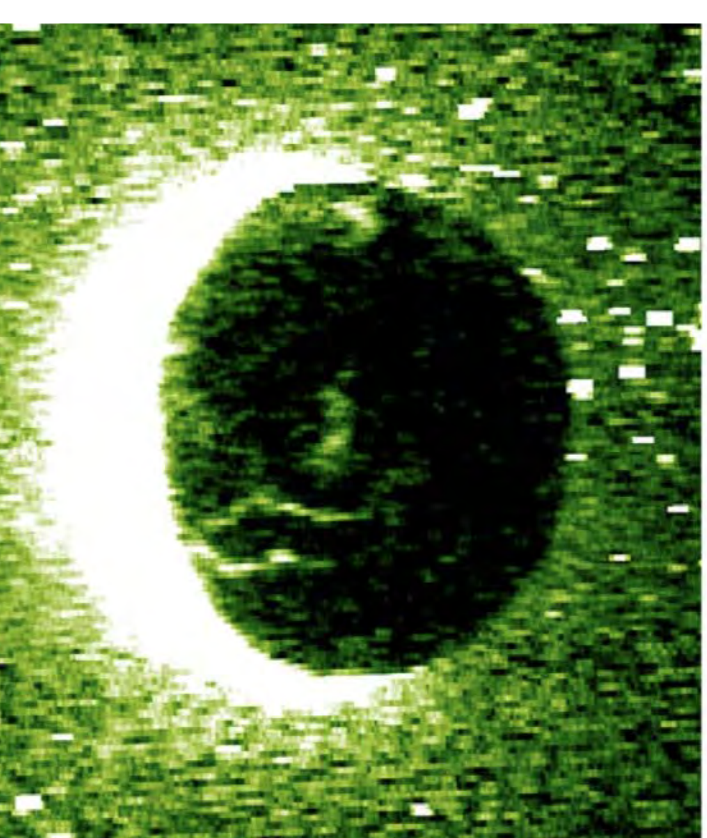
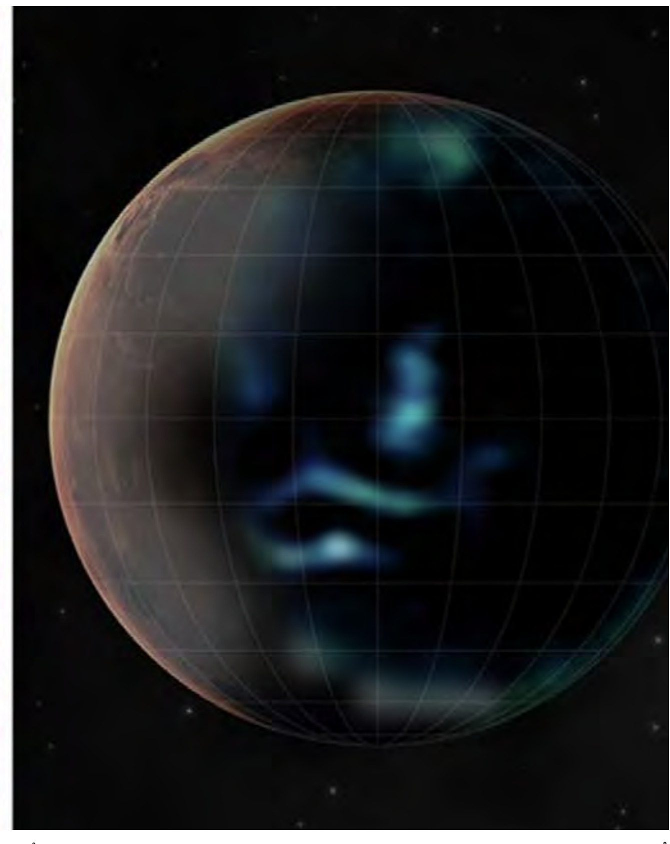
ويُورِد التقرير الصادر عن الهيئة مسألة مهمة أيضًا، وهي أنه من الممكن تجنب كثير من الآثار الوخيمة للتغيرات المناخية، لو قمنا باتخاذ خطوات جريئة الآن. فتقول روهاس إنّ أي زيادة في الاحترار، مهما كانت ضئيلة، قد تشكل فارقًا. وتردف قائلة: "هذه نقطة في غاية الأهمية، وهي "أن المستقبل بأيدينا".



OREGON DEPARTMENT OF FORESTRY/AP/SHUTTERSTOCK

أصبحت حرائق الغابات أكثر تواترًا في ولاية أوريجون وأجزاء أخرى من شمال غرب المحيط الهادئ.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

EMIRATES MARS MISSION

تُظهِر الصور التي التقطها مقياس الطيف على متن مسبار "الأمل" الإماراتي (في القطاع الأيسر)، والرسم التخيُّلي (على اليمين) شفق المريخ المتمايز في جانب من الكوكب حيث أرخى الليل سدوله.

مسبار «الأمل» الإماراتي يصوِّر شفق المريخ المتوهج

الصور التي التقطها المسبار هي الأكثر جلاءً حتى الآن لهذا الشفق المتمايز، ولانبعاثاته من الأشعة فوق البنفسجية، التي تسلك نمطًا شبيهًا بذاك المتولد عن مجال مغناطيسي آخذ في الاضمحلال.

دافيديه كاستلفيكي

نجح مسبار "الأمل" الإماراتي في التقاط أكثر الصور جلاءً حتى يومنا هذا للشفق "المتمايز" الذي يظهر على المريخ. تنشأ انبعاثات الأشعة فوق البنفسجية التي يبثها هذا الشفق، والتي رصدها مقياس الطيف المحمول على متن المسبار، عندما تصطدم الرياح الشمسية بالمجالات المغناطيسية المنبعثة من قشرة المريخ. بعد ذلك، تتصادم الجزيئات المشحونة الناجمة عن هذه العملية مع الأكسجين في الجزء العلوي من الغلاف الجوي للكوكب، وهو ما يؤدي إلى توهج هذا الشفق.

كانت بعثة المسبار، المعروفة رسميًا باسم "مشروع الإمارات لاستكشاف المريخ" Emirates Mars Mission (أو اختصارًا EMM)، قد نجحت في بلوغ هذا الكوكب الأحمر في فبراير الماضي، وشرعت في مباشرة مهامها العلمية الرسمية في الثالث والعشرين من مايو. وينصب جام تركيز الأهداف العلمية الرئيسية التي وُضعت لهذا المسبار الذي يزن 1.35 طن، والذي تكلف تشييده 200 مليون دولار أمريكي، على استكشاف الغلاف الجوي للمريخ، لا مغناطيسيته. من هنا، كانت صور الشفق التي تمخض عنها مزية أخرى تُضاف إلى قائمة إسهاماته. وفي ذلك الصدد، تقول حصة المطروشي، القائد العلمي "لمشروع الإمارات لاستكشاف المريخ"، بمركز محمد بن راشد للفضاء في دبي: "كان رصد الشفق بمثابة هدية لنا".

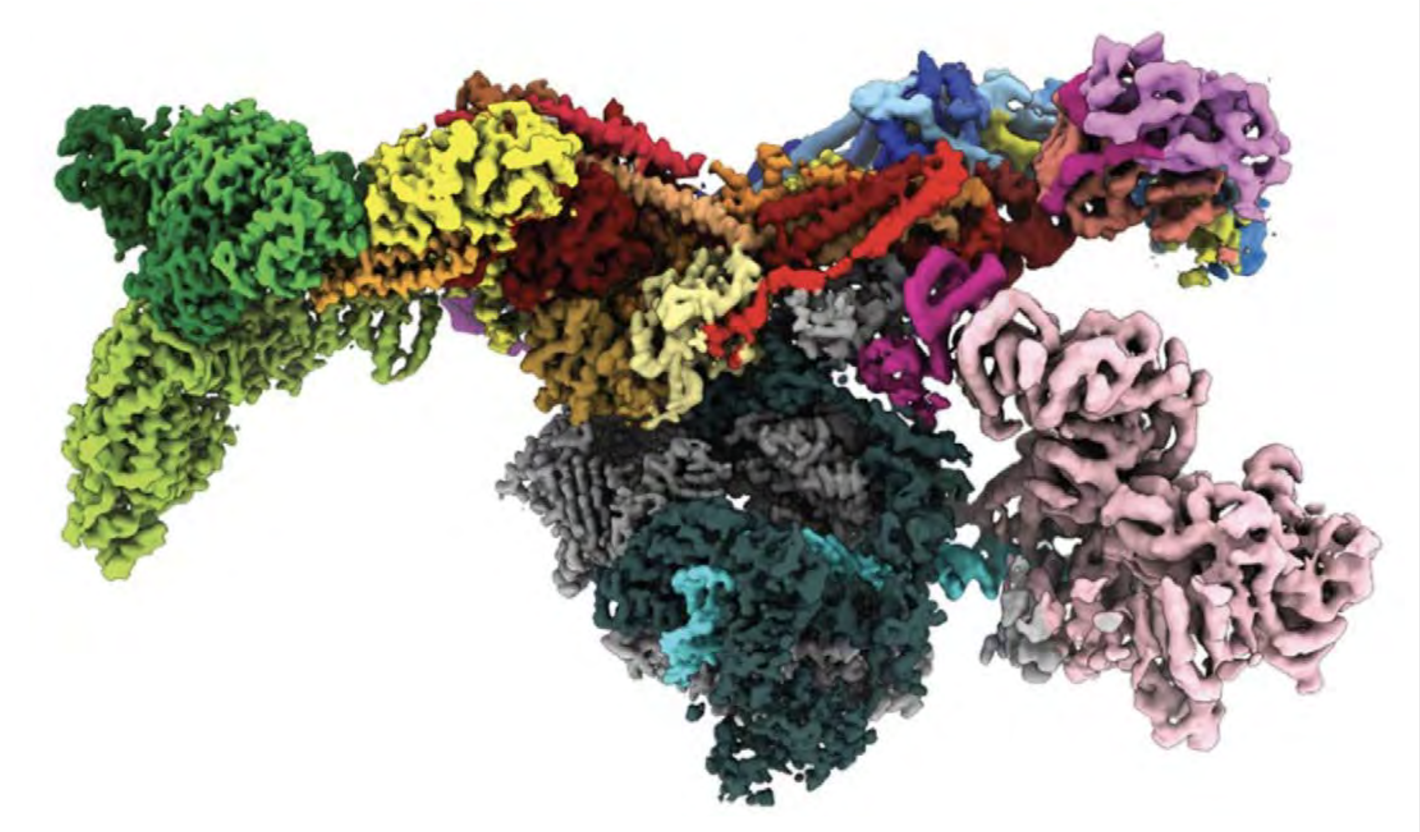
تجدُر الإشارة إلى أن الباحثين المتخصصين في دراسة كوكب المريخ قد رصدوا في وقت سابق "أشعة شفق واسعة الانتشار" في أثناء العواصف الشمسية على ظهر الكوكب، فضلًا عن أشعة شفق "بروتونية" تنبعث على ارتفاعات كبيرة من سطحه، عندما تنزع بروتونات الرياح الشمسية الإلكترونات من الذرات بغلافه الجوي لتنتج الهيدروجين[1]. ويبدو أن هذا الشفق المتمايز يتأثر في أنماطه بالخواص المغناطيسية لقشرة المريخ، وهو ما يشير إلى أن الكوكب تمتع يومًا ما بمجال مغناطيسي عم أرجائه وشابه المجال المغناطيسي على الأرض. ويُعتقد أن أنماط أشعة الشفق ظلت ثابتة منذ مليارات السنين، عندما تصلبت الحمم البركانية في ظل وجود هذا المجال المغناطيسي.

وجدير بالذكر، أن هذه الانبعاثات التي رصدها مسبار "الأمل" أماط اللثام عنها أول مرة القمر الصناعي "مارس إكسبريس" Mars Express، التابع "لوكالة الفضاء الأوروبية"، في عام 2004. كما التقط المسبار "مافن" Maven التابع لوكالة "ناسا" صورًا لها من قبل. بيد أن "مشروع الإمارات لاستكشاف المريخ" التقط "صورًا مبهرة" لهذه الظاهرة، على حد تعبير نيك شنايدر، عالم الكواكب من جامعة كولورادو بولدر، وعضو فريق مسبار "مافن"، الذي عقب على هذا الحدث قائلًا: "من واقع خبرتي، لم ألبث أن أدركت النمط الذي ترتسم به خطوط أشعة الشفق حول بقايا المجال المغناطيسي المضمحل للمريخ. ولا شك أن هذه الصور تجسد اضمحلال المجال المغناطيسي الذي عم المريخ سابقًا، ويُشتبه في أن هذا هو السبب الذي يقف وراء اختفاء الغلاف الجوي السميك الذي اتسم به الكوكب سابقًا".

وقد صرحت المطروشي بأن فريقها يعتزم نشر دراسة تستند إلى هذه الملاحظات.

1. Deighan, J. *et al. Nature Astron.* **2**, 802–807 (2018).

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية



YUAN HE

لطالما رأى علماء البيولوجيا البنيوية أن المعقَّد الوسيط البشريّ من أصعب الأنظمة متعددة البروتينات في فك شفراتها.

شبكة الذكاء الاصطناعي «ألفافولد» تتنبَّأ ببِنى مجموعة وفيرة من البروتينات

أنتجت الشبكة العصبيّة «ألفافولد» AlphaFold قاعدة بيانات "ثورية" لأكثر من 350 ألف بِنْية بروتينية بالإنسان العاقل *Homo sapiens* و20 كائن تجارب.

إوين كالاواي

يحمل الجينوم البشري تعليمات تخليق أكثر من 20 ألف بروتين، إلا أن حوالي ثلث هذا العدد فقط تأكدت بِنْيته ثلاثية الأبعاد تجريبيًّا. ولم يُعرف إلا جانب فقط من طبيعة هذه البِنَى في حالات عديدة.

ومؤخرًا، ظهرت أداة ذكاء اصطناعيّ ثوريّة تُسَمَّى «ألفافولد» AlphaFold، طوّرتها شركة «ديب مايند» DeepMind، التابعة لشركة «جوجل»، والكائنة في لندن. وقد تنبأت هذه الأداة ببِنْية البروتيوم البشريّ بأكمله تقريبًا (والبروتيوم هو إجمالي البروتينات التي يُعَبِّر عنها الكائن الحيّ). وإضافة إلى ذلك، فقد تنبأت الأداة بالبِنْية الكاملة تقريبًا لبروتيومات كائنات حية مختلفة، تنوعت ما بين بروتيومات الفئران والذرة، وبروتيومات طفيل الملاريا (انظر الشكل: "المسارات المحتملة لطي البروتينات").

وجدير بالذكر أن هذه البِنى البروتينية التي يتجاوز عددها 350 ألفًا، والمتاحة من خلال قاعدة بيانات مُعلنة، تتباين دقة بياناتها، إلا أن الباحثين يقولون إن هذا المورد - المزمع أن ينمو ليشمل 130 مليون بِنْية بروتينية بنهاية العام الحالي - يمكن أن يفجر ثورة في مجال العلوم الحيويّة.

وفي ذلك الصدد، تقول كريستين أورينجو، اختصاصية علم البيولوجيا الحاسوبي من كليّة لندن الجامعيّة (UCL): "تبشر هذه الأداة - من وجهة نظري - بتغيير جذري، فمعرفتنا بأشكال كل هذه البروتينات تتيح لنا فهمًا معمقًا لآلياتها".

أما ديميس هاسابيس، الشريك المؤسس والرئيس التنفيذي لشركة «ديب مايند»، فيقول عن هذه الأداة: "إنها أكبر إسهام قدّمه نظام ذكاء اصطناعي لتطوير المعرفة العلميّة حتى يومنا هذا. ولا أظن أن وصفها بذلك ضرْب من المغالاة"، إلا أن الباحثين يؤكدون أن بنك البيانات هذا مجرد البداية، وليس نهاية المطاف، إذ سيتعين عليهم التحقق من صحة تنبؤات الأداة. وفوق ذلك، سيتعين عليهم استخدام هذه التنبؤات في تجارب كانت حتى الآن مستحيلة. ومن هنا، يقول ديفيد جونز، اختصاصي علم البيولوجيا الحاسوبي من كليّة لندن الجامعيّة، الذي قدم استشارات لشركة «ديب مايند» حول إصدار سابق من شبكة «ألفافولد»: "إن امتلاكنا لكل هذه البيانات بهذا القدر لَهُو خطوة أولى مدهشة".

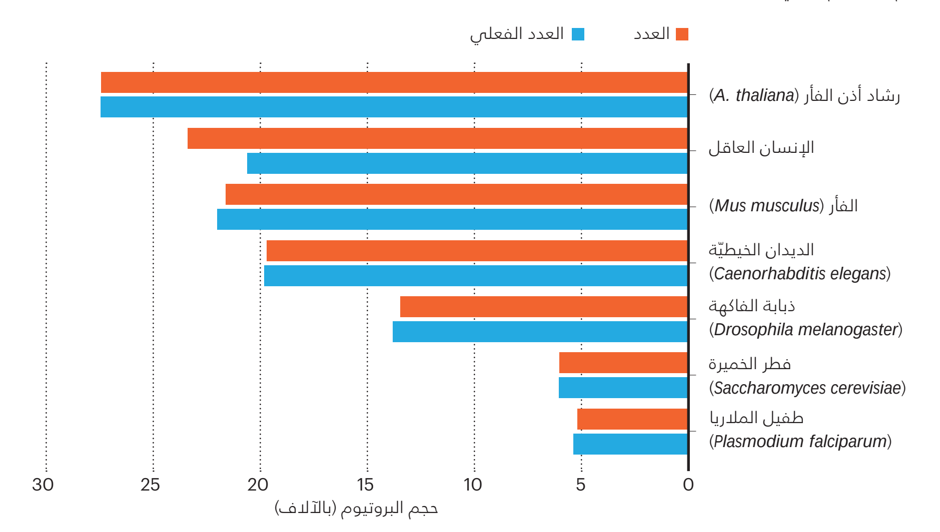
تنبؤات حازت جوائز

أذهلت شركة «ديب مايند» مجتمع العلوم الحيويّة خلال العام الماضي، حينما تفوقت نسختها المحدثّة من شبكة «ألفافولد» باكتساح على منافسيها في تجربة تنعقد كل عامين للتنبؤ بالبِنى البروتينية، تسمَّى CASP (التقدير التوقعيّ للبِنى البروتينية Critical Assessment of Protein Structure Prediction). وفي هذه المنافسة التي تُقام منذ زمن، والتي كانت عادة حلبة تنافس بين الباحثين الأكاديميين، يتنبأ الباحثون بِنى بروتينات، جرى التوصل إليها تجريبيًّا، لكن لم تُعلن بعد.

وكان بعض توقعات شبكة «ألفافولد» مكافئًا لما

المسارات المحتملة لطيّ البروتينات

استهدفت شبكة "ألفافولد" توقُّع بِنَى جميع البروتينات البشريّة، إضافة إلى بروتينات 20 كائن تجارب، من بينها كائنات مدْرَجة في هذا الشكل. وقد قدّمت الشبكة عدة تنبؤات لبِنَى بعض البروتينات، وهو ما يفسِّر ارتفاع عدد هذه التنبؤات عن عدد البروتينات التي تشكل حجم البروتيوم. وفي حالة الإنسان العاقل Homo sapiens، شملت التنبؤات 98.5% من البروتينات المعروفة.



SOURCE: EMBL-EBI AND HTTPS://SWISSMODEL.EXPASY.ORG/REPOSITORY

كشفت عنه نماذج تجريبيّة عالية الجودة، إلى حد أن بعض العلماء رأى أن هذه الشبكة ستؤسس لعصرٍ جديد. وفي شهر يوليو الماضي، أعلنت شركة «ديب مايند» عن الكود المصدريّ للإصدار الأحدث من شبكة «ألفافولد»، كما أصدرت وصفًا تفصيليًّا لكيفيّة تطويره[1]. (وقد شرعت فِرَق أكاديميّة بالفعل في استخدام هذه الموارد، للخروج بتوقعات مفيدة عن بعض البِنَى البروتينية). وفي أثناء الاستعداد للإعلان عن الكود المصدري لشبكة «ألفافولد»، نقّحته شركة «ديب مايند» بحيث يعمل بصورة أكثر كفاءة. وبعد أن استغرق التنبؤ ببعض البِنَى البروتينية في التجربة سالفة الذكر أيامًا، صار بإمكان النسخة المحدَّثة من «ألفافولد» إجراء عمليات حوسبية، والتوصل إلى هذه البِنَى خلال مدة تتراوح من دقائق إلى ساعات.

وبهذه الكفاءة المعززة، استهدف فريق شركة «ديب مايند» توقُّع بِنى كل بروتين معروفٍ تقريبًا يُرمِّزه الجينوم البشريّ، إضافة إلى بروتينات 20 كائن تجارب. وتتوفر البِنى التي تنبأت بها الأداة في قاعدة بيانات يديرها معمل البيولوجيا الجزيئيّة الأوروبيّ، التابع لمعهد المعلوماتيّة الحيويّة الأوروبي (المعروف اختصارًا باسم EMBL-EBI)، في هينكستون بالمملكة المتحدة.

وإضافةً إلى البِنَى التي تنبأت بها الشبكة، والتي تشمل بِنَى 98.5% من البروتينات البشريّة المعروفة، ونسبة مماثلة من بِنَى بروتينات كائنات أخرى، استحدثت شبكة «ألفافولد» مقياسًا لدقة توقعاتها. وتعقيبًا على ذلك.، تقول كاثرين تونياسوفوناكول، اختصاصية التطبيقات الهندسية العلمية في شركة «ديب مايند»، والباحثة الأولى في دراسة منشورة في دورية *Nature* تصف تنبؤات الأداة فيما يتعلق ببِنَى البروتيوم البشري[2]: "نريد أن نمنح العلماء التجريبيين وعلماء البيولوجيا مؤشرات شديدة الوضوح عما يجب عليهم الاعتماد عليه في هذه التوقعات". كما أضافت الباحثة قائلة إنّ 58% من التنبؤات المتعلقة بمواقع الأحماض الأمينية المفردة في البروتيوم البشريّ كانت جيدة بما يكفي للوثوق في صحة التنبؤات بصور طيّ البروتينات. كما يُحتمل أن مجموعة فرعيّة من تلك التنبؤات - 36% من عددها الإجمالي - اتسمَتْ بدقة كافية لوضع وصف تفصيلي للخصائص الذَّرية المفيدة في تصميم العقاقير، مثل المواقع النشطة من الإنزيمات.

وإضافةً إلى ذلك، فإنّ التنبؤات الأقل موثوقية التي خرجت بها الأداة قد توفِّر أيضًا بعض المعلومات. وعلى سبيل المثال، يعتقد علماء البيولوجيا أن نسبة كبيرة من البروتينات البشريّة وبروتينات الكائنات حقيقية النوى الأخرى - أي الكائنات الحيّة ذات الخلايا التي تحتوي على نوى - تحتوي على مناطق ذات تركيب فوضوي في الأصل، ولا تتخذ بِنْية ثابتة إلا بالتضافر مع جزيئات أخرى. وفي ذلك الصدد، يقول جون جامبر، الباحث الرئيس في الفريق المعنِيّ بشبكة «ألفافولد»: "تتلوى بروتينات عديدة بطبيعتها في المحاليل، ولا تأخذ بِنْية ثابتة". وبعض المناطق البروتينية التي أوردت شبكة «ألفافولد» تنبؤات بِنْيَتها بدرجة منخفضة من الموثوقية، جاءت مطابِقة لمناطق بروتينية، اشتبه علماء البيولوجيا في أنها ذات بِنى فوضوية، كما يقول بوشميت كوهلي، رئيس قسم الذكاء الاصطناعي للتطبيقات العلمية في شركة «ديب مايند».

ويرى الباحثون أن تحديد كيفيّة تفاعل البروتينات المفردة مع الأجزاء الأخرى التي تلعب دورًا في الخلايا يُعَد من أكبر التحديات التي تواجه شبكة «ألفافولد» في استحداث تنبؤاتها. ففي تجربة التقدير التوقعي لبِنَى البروتينات، كان أغلب تنبؤات الشبكة يتعلق بوحدات تُطوى بصورة مستقلة في البروتينات، تسمَّى النطاقات، إلا أن البروتيوم البشريّ وبروتيومات الكائنات الحية الأخرى يحتويان على بروتينات متعددة النطاقات، تُطوى على نحو شبه مستقل. كما أن الخلايا البشريّة تحتوي على جزيئات مؤلَّفة من سلاسل متعددة من البروتينات المتفاعلة، مثل المُسْتَقْبِلات على أغشية الخلايا.

طوفان من البيانات

يقول سمير فيلانكار، اختصاصي المعلوماتية الحيويّة البنيويّة في معمل البيولوجيا الجزيئيّة الأوروبيّ، التابع لمعهد المعلوماتيّة الحيويّة الأوروبي، إنه من المتوقع بحلول نهاية العام الجاري أن يتزايد عدد التنبؤات المتعلقة بالبِنَى البروتينية التي توفرت في يوليو الماضي، والبالغ عددها تقريبًا 365 ألفًا إلى 130 مليونًا، أي إلى عدد يشمل حوالي نصف جميع البروتينات المعروفة. ويُزمع تحديث قاعدة بيانات البروتينات مع اكتشاف بروتينات جديدة، وتحسُّن التنبؤات حولها. وعن ذلك، تقول تونياسوفوناكول: "لم يكن توفُّر مورد كهذا في الحسبان"، وهي متشوقة لرؤية ما ستسفر عنه اكتشافات العلماء في هذا الصدد.

وجدير بالذكر أن الباحثين قد بدأوا بالفعل في استخدام شبكة «ألفافولد» وأدوات مشابِهة، لمساعدتهم في فهْم البيانات التجريبيّة المتولِّدة من التصوير البلوري بالأشعة السينيّة والفحص المجهري الإلكتروني فائق التبريد. وعلى سبيل المثال، استخدم مارسيلو سوسا، اختصاصي الكيمياء الحيويّة من جامعة كولورادو بولدر، شبكة «ألفافولد» في وضع نماذج مبنيّة على بيانات متولدة من التصوير بالأشعة السينيّة لبروتينات تستخدمها البكتيريا لمراوَغة مضاد حيويّ يُسَمَّى الكوليستين. وقد لاحظ سوسا أن أجزاء البيانات التي كانت مختلفة في نموذجه التجريبيّ عن تنبؤات «ألفافولد» كانت تتعلق عادةً بمناطق بروتينية صنّفت الشبكة تنبؤاتها حولها على أنها ذات درجة موثوقية ضعيفة، وهو ما يدل على أن شبكة «ألفافولد» تتنبأ بدقة بحدود قدرتها.

وما زال على علماء البيولوجيا مواصلة قياس دقة هذه التنبؤات بمقارنتها بالبيانات التجريبيّة، لتحديد مدى موثوقيّتها بشكلٍ أفضل، كما يقول فينكي راماكريشنان، اختصاصي علم البيولوجيا البنيوية في مختبر مجلس البحوث الطبي للبيولوجيا الجزيئية في كامبريدج بالمملكة المتحدة. أما أورينجو، فتقول: "نحن بحاجة إلى أن نتمكن من الثقة في هذه البيانات".

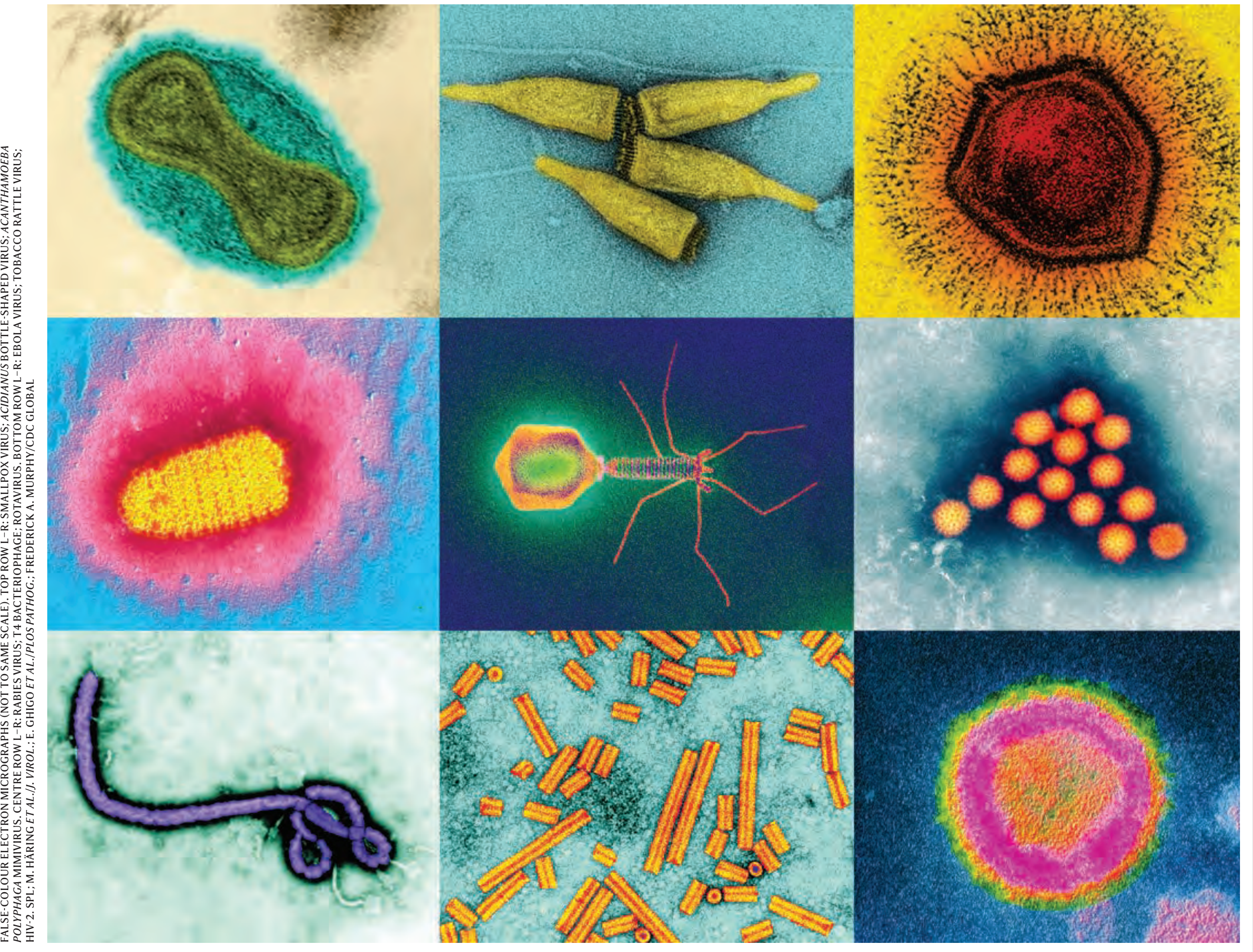
وقد أبهرت نجاحات الشبكة جونز، إلا أنه يقول إن كثيرًا من نماذج البِنَى البروتينية التي تنبأت بها أمكن استحداثها ببرامج أقدم، صممها باحثون أكاديميّون، حيث يقول: "يُرجح أن تلك النتائج جيدة بما يكفي لتطويعها في خدمة كثير من الأغراض في حال أغلب البروتينات"، إلا أنه استدرك قائلًا: "العلماء العازمون على التوصل إلى بِنَى أي بروتين قد ينجحون بدورهم في ذلك باستخدام الأساليب التجريبيّة".

وتوفُّر هذا الكَمّ الكبير من بيانات البِنَى البروتينية يرجَّح أن يكون مؤشرًا على "نقلة نوعيّة" في علم البيولوجيا، كما يقول محمد القريشيّ، اختصاصي علم البيولوجيا الحاسوبية من جامعة كولومبيا بمدينة نيويورك، الذي يعمل في مجال التنبؤ بالبِنَى البروتينية. وقد أنفق مجال البيولوجيا الحوسبية الكثير من الوقت والجهد، من أجل الخروج بهذا القدر من التنبؤات الدقيقة حول البِنَى البروتينية إلى حد أنه لم يتوصل بعد إلى ما يمكن تحقيقه باستخدام هذه الموارد. ويعقِّب القريشيّ على ذلك قائلًا: "كل ما نفعله اليوم بالاعتماد على التسلسلٍ البروتينيّ، صار بإمكاننا القيام به باستخدام البِنَى البروتينية".

وتأمل أورينجو أن تساعدها قاعدة بيانات البِنَى البروتينية التي وفّرتها الشبكة على الوصول إلى فهمٍ أفضل للقيود البنيويّة التي تخضع لها البروتينات، فقد وضعت قاعدة بيانات للبروتينات المعروفة من حوالي 5 آلاف "عائلة بنيويّة"، إلا أن حوالي نصف البروتينات المسجلة في قاعدة البيانات جرى استبعادها، لأنّ أيًّا منها لم يُطابِق أيّ بِنْية تم اكتشافها والتأكد منها. وتقول أورينجو إنّ تنبؤات «ألفافولد» قد تساعد على اكتشاف أنماط بنى جديدة، وتضيف قائلة: "حينها سنرى حقًّا كيف يبدو فضاء طي البروتين".

ويتوقع جونز أنّ «ألفافولد» سوف تؤدّي بكثيرٍ من علماء البيولوجيا إلى مراجعة أفكارهم حيال ما يمكن فِعْله بكل هذه البِنَى، وحيال سهولة التوصل إلى المزيد منها، فيقول: "سوف تُعْقَد مؤتمرات في هذا الصدد. وعندها سنقول: لدينا حاليًّا 130 مليون نموذج، فكيف يمكن أن يغيِّر هذا منظورنا إلى علم الأحياء؟ وقد لا يغيِّره، لكنني أعتقد أنه سيفعل".

1. Jumper, J. *et al.* Nature https://doi.org/10.1038/s41586-021-03819-2 (2021).
2. Tunyasuvunakool, K. *et al.* Nature https://doi.org/10.1038/s41586-021-03828-1 (2021).



FALSE-COLOUR ELECTRON MICROGRAPHS (NOT TO SAME SCALE). TOP ROW L–R: SMALLPOX VIRUS; *ACIDIANUS* BOTTLE-SHAPED VIRUS; *ACANTHAMOEBA POLYPHAGA* MIMIVIRUS. CENTRE ROW L–R: RABIES VIRUS; T4 BACTERIOPHAGE; ROTAVIRUS. BOTTOM ROW L–R: EBOLA VIRUS; TOBACCO RATTLE VIRUS; HIV-2. SPL; M. HÄRING *ET AL./J. VIROL.*; E. GHIGO *ET AL./PLOS PATHOG.*; FREDERICK A. MURPHY/CDC GLOBAL

توجد الفيروسات بأشكال وأحجام شتى، مثل الفيروسات المحاكية العملاقة (أعلى يمين الصورة)، والعاثيات التي تغزو البكتيريا الشبيهة بمركبات الهبوط على القمر (وسط الصورة).

الفيروسات وتنوعاتها المبهرة

ليست كل الفيروسات ضارة، واختصاصيو علم الفيروسات يجدونها في كل مكان. وقد بدأ الباحثون في تسمية نونليونات من أنواع الفيروسات الموجودة على ظهر كوكب الأرض وتصنيفها، فضلًا عن رصد أدوارها في الأنظمة البيئية العالمية. **بقلم آمبر دانس**

نقّبت ميا برايتبارت عن فيروسات جديدة داخل تلال النمل الأبيض في أفريقيا، ولدى حيوانات الفقمة في القطب الجنوبي، وفي مياه البحر الأحمر، بيد أن أثمن اكتشافاتها، لم يتطلب منها سوى دخول الحديقة الخلفية لمنزلها في فلوريدا. فهناك، تجمعت حول المسبح عناكب مدارية غازلة، ذات ظهور شوكية مدببة (تُعرف علميًّا باسم *Gasteracantha cancriformis*)، وهي عناكب مدهشة ومثيرة للاهتمام، ذات أجسام بيضاء مستديرة، تتناثر عليها بقع سوداء، وست شويكات قرمزية، تجعل شكلها شبيهًا بآلة حرب من القرون الوسطى. تنامت دهشة برايتبارت، التي تعمل اختصاصية في علم إيكولوجيا الفيروسات في جامعة ساوث فلوريدا بمدينة سانت بيترسبرج الأمريكية، حين فحصت ما بداخل هذه الكائنات. فعندما قامت مع زملائها بجمع عدد من هذه العناكب وطحنها، وجدوا بداخلها فيروسين غير معروفين للعلماء[1].

وعلى الرغم من أن اهتمام البشرية قد تركز منذ مطلع عام 2020 على فيروس بغيض واحد، إلا أن الكثير من الفيروسات الأخرى لم يُكتشَف بعد. ويقدِّر العلماء أن المحيطات وحدها آوت في وقت ما من تاريخها ما يزيد على 10 نونليونات من الجزيئات الفيروسية. وهو رقم يعادل عشرة مليارات ضِعف عدد النجوم في الكون المرصود.

ويتأكد لنا يومًا بعد يوم أن الأنظمة البيئية والكائنات الحية تعتمد على الفيروسات. فقد حفزت تلك الكائنات دقيقة الحجم، التي تتمتع مع ذلك بقوة هائلة، عملية النشوء والتطور منذ ملايين السنين، عن طريق نقل الجينات بين الكائنات المضيفة لها. وفي المحيطات، تشق الفيروسات أجسام الكائنات المجهرية، لتفرغ محتويات هذه الكائنات في المياه، وهو ما يغمر شبكات الغذاء بالعناصر المُغذية. وفي ذلك الصدد، يقول كيرتيس ساتل اختصاصي علم الفيروسات من جامعة كولومبيا البريطانية بمدينة فانكوفر الكندية: "لولا الفيروسات، لما صمدت البشرية على قيد الحياة".

وقد أدرجت اللجنة الدولية لتصنيف الفيروسات (ICTV) حتى الآن أسماء ما لا يزيد على 9110 أنواع من الفيروسات، لكن من الواضح أن هذا الرقم لا يمثل سوى نسبة ضئيلة من الأعداد الكلية. ويعود ذلك - في جزء منه - إلى أن أي تصنيف رسمي لفيروس ما كان يتطلب من العلماء في الماضي استنبات هذا الفيروس في الكائن المضيف، أو في خلايا الكائن المضيف، وهي عملية تستغرق الكثير من الوقت، ما لم تكن مستحيلة. وثمة سبب آخر، وهو أن عملية البحث عن الفيروسات في الماضي جنحت نحو اكتشاف الفيروسات المسببة للأمراض في الإنسان والكائنات التي تهمنا، مثل حيوانات المزارع، والنباتات المنتجة للمحاصيل، ثم جاءت جائحة «كوفيد» لتذكّرنا بأهمية دراسة الفيروسات القادرة على الانتقال السريع والمفاجئ من كائن مضيف إلى آخر، وهو ما يشكل تهديدًا لنا وللحيوانات التي نقوم بتربيتها، أو المحاصيل التي نزرعها.

وخلال السنوات العشر الماضية تزايد بدرجة كبيرة عدد الفيروسات التي استطاع العلماء العثور عليها وتسميتها، وذلك بفضل التقدم المُحرَز على صعيد تقنيات البحث عن الفيروسات، بالإضافة إلى التغيرات التي أُدخلت مؤخرًا على قواعد تحديد الأنواع الجديدة. وتقدم لنا دراسات الميتاجينوم بعضًا من الأساليب الفعالة في هذا الصدد، إذ تسمح للباحثين بجمع عينات جينومية في بيئة ما دون الحاجة إلى استنبات فيروسات كاملة. كما تسهم التقنيات الحديثة، مثل تقنيات تحديد التسلسل الجينومي لفيروسات مفردة، في إضافة فيروسات جديدة إلى القائمة، منها فيروسات شائعة إلى حد مثير للدهشة، لكن لم تظهر قبل الآن. وتعقيبًا على ذلك، تشير برايتبارت إلى أن إجراء هذا النوع من الأبحاث العلمية ممتع في وقت كهذا. واستطردت قائلة: "أعتقد أن الوقت الحاضر هو من نَواحٍ عدة العصرُ الذهبي لدراسة الجينومات الفيروسية".

وعلى سبيل المثال، في عام 2020 وحده، أضافت اللجنة الدولية لتصنيف الفيروسات 1044 نوعًا إلى قائمتها الرسمية للفيروسات، بينما توجد آلاف الفيروسات الأخرى في انتظار الانتهاء من توصيفها وتسميتها. وقد دفع هذا التنامي في أعداد الجينومات الفيروسية المكتشفة باحثي علم الفيروسات إلى مراجعة الأسلوب المتبع في تصنيف الفيروسات. كما ساعد في توضيح آلية نشوئها وتطورها. وثمة أدلة قوية على أن الفيروسات برزت إلى الوجود عدة مرات، ولم تنحدر من أصل أوحد.

يقول ينز كون، اختصاصي علم الفيروسات من المعهد الوطني الأمريكي لأمراض الحساسية والأمراض المعدية في فورت ديتريك بولاية ميريلاند الأمريكية، إنه بالرغم من كل هذه الإنجازات، فإن الاتساع الحقيقي لعالَم الفيروسات يبقى مجهولًا إلى حد كبير، مضيفًا: "ليس لدينا في الحقيقة أية فكرة عن ماهية هذا العالَم".

الفيروسات في كل مكان

تشترك الفيروسات كافة في خاصيتين: يضم كل فيروس الجينوم الخاص به داخل قفيصة بروتينية، ويعتمد في عملية التكاثر على الكائن المضيف، سواء أكان إنسانًا، أم عنكبوتًا، أم نباتًا. وفيما عدا هذا النمط العام، تتميز أنماط الفيروسات بتنوعات لا نهائية.

ثمة فيروسات حلقية دقيقة تحمل جينين أو ثلاثة فقط. كما توجد فيروسات محاكية عملاقة، أكبر حجمًا من بعض البكتيريا، وتحمل مئات الجينات. وهناك العاثيات التي تغزو البكتيريا وتشبه مركبات الهبوط على القمر، ناهيك بالطبع عن الفيروسات الكروية الفتاكة ذات النتوءات الشوكية، التي بات العالم يعرفها ويعاني منها في الوقت الراهن. كذلك هناك فيروسات تقوم باختزان جيناتها في صورة حمض نووي، وأخرى تختزنه في صورة حمض نووي ريبي، بل إن هناك عاثيات تستخدم أبجدية جينية بديلة، إذ تستبدل قاعدة الأدينين الكيميائية في نسق قواعد الحمض النووي النيتروجينية التقليدي (ACGT)، (نسبة إلى الأدينين A، والسايتوزين C، والجوانين G، والثايمين T) بجزيء آخر يُسمى Z.

> ”ليس لدينا في الحقيقة أية فكرة عن ماهية هذا العالم".

وتنتشر الفيروسات انتشارًا كبيرًا وواسعًا، بحيث يمكنها أن تظهر، حتى إنْ لم يبحث العلماء عنها. وعلى سبيل المثال، لم يكن فريدريك شولتس يعتزم دراسة الفيروسات حينما أخذ يفحص تسلسلات جينومية فيروسية مستخرَجة من مياه الصرف. ففي أثناء دراساته العليا بجامعة فيينا في عام 2015، كان يستعين بعلم الميتاجينوم في البحث عن أصناف بكتيرية، وهي عملية تتطلب استخلاص الحمض النووي من خليط كبير من الكائنات، وتجزئته إلى قطع صغيرة، وتحديد التسلسل جينومي لجميع هذه الأجزاء. وبعد ذلك، يتولى برنامج حاسوبي تجميع تلك القطع، وترجمتها إلى جينومات فريدة، في عملية تشبه حل أحجية تركيبية مكونة من مئات القطع المتناثرة.

وسط الجينومات البكتيرية التي فحصها شولتس، وقع على جينوم فيروسي ضخم إلى حد لافت، كان من السهل ملاحظته، لأن قفيصته حملت جينات. ويتميز هذا الجينوم بأنه يحتوي على 1.57 مليون زوج قاعدي نووي[2]. وقد اتضح أنه فيروس عملاق يشكل جزءًا من مجموعة تتصف بالضخامة من حيث حجم الجينوم والحجم الكلي (يصل قطرها عادة إلى 200 نانومتر، أو أكثر). وتصيب هذه الفيروسات الأميبا، والطحالب، وطلائعيات أخرى، وهذا يمنحها القدرة على التأثير في الأنظمة البيئية، سواءً المائية، أم البرية.

وقد قرر شولتس – الذي يعمل الآن باحثًا في علم الأحياء الدقيقة بمعهد الجينوم المشترك، التابع لوزارة الطاقة الأمريكية في مدينة بيركلي بولاية كاليفورنيا الأمريكية – البحث عن فيروسات مشابهة في قواعد بيانات الميتاجينوم. وكان قد نشر مع فريقه البحثي في عام 2020 بحثًا[3] يضم توصيفًا لأكثر من 2000 جينوم من مجموعة الفيروسات العملاقة تلك. وقبل صدور هذا البحث، لم يكن الباحثون قد أدرجوا سوى 250 جينومًا من هذا النوع في قواعد البيانات المُعلنة.

كما بحث اختصاصيو علم الفيروسات عن أنواع جديدة من الفيروسات داخل جسم الإنسان. وعلى سبيل المثال، أجرى لويز كاماريو جيريرو، اختصاصي علم المعلومات الحيوية الفيروسية وفريقه البحثي من معهد وِيلْكَم سانجر في بلدة هينكستون بالمملكة المتحدة دراسة على ميتاجينومات مستخرَجة من أمعاء الإنسان، أسفرت عن وضع قاعدة بيانات تضم أكثر من 140 ألف نوع من العاثيات. وضم نصف هذا العدد أنواعًا جديدة لم يعرفها العِلم من قبل. وقد جاءت نتائج دراسة الفريق[4]، التي نُشرت في فبراير الماضي، مطابِقة لنتائج دراسات سابقة، خلصت إلى أن النوع الأكثر شيوعًا من الفيروسات التي تهاجم البكتيريا في أمعائنا هو مجموعة تُعرف باسم "عاثيات المُجمِّع التحويلي" crAssphage، (وتعود تسميتها إلى برمجية تجميع تحويلي اكتشفتها في عام 2014). ويعمل كاماريو جيريرو حاليًّا في شركة "إيللومينا" Illumina النشطة في مجال تحديد تسلسلات الحمض النووي في مدينة كيمبردج بالمملكة المتحدة، ويرى أنه بالرغم من انتشار هذه المجموعة من الفيروسات، إلا أن العِلم لا يعرف الكثير عن دورها في ميكروبيوم جسم الإنسان.

وقد كشفت لنا دراسات الميتاجينوم عن عدد هائل من الفيروسات، لكنها تغفل كذلك الكثير منها. وعلى سبيل المثال، لا تتسم الفيروسات التي تستخدم الحمض النووي الريبي بميتاجينوم تقليدي. ولهذا، بحث عنها كولين هيل، اختصاصي علم الأحياء الدقيقة من كلية كورك الجامعية، وفريقه البحثي في قواعد بيانات الميتاترانسكريبتوم الخاصة بالحمض النووي الريبي، التي يستخدمها العلماء عادة في دراسة الجينات التي تُترجم بصورة متعمَّدة إلى حمض نووي ريبي مرسال، بهدف إنتاج البروتينات في بعض الفيروسات، لكن قد تظهر كذلك في هذه البيانات جينومات الفيروسات التي تستخدم الحمض النووي الريبي. ومن هنا، استخدم الفريق تقنيات حوسبة في استخراج التسلسلات الجينومية لهذه الفيروسات من البيانات المتاحة، حيث وجدوا 1015 جينومًا فيروسيًّا في قواعد بيانات الميتاتراسكريبتوم، أُخِذت من عينات رواسب طينية ومياه[5]. وهكذا استطاع الباحثون مرة أخرى زيادة عدد الفيروسات المكتشفة بصورة هائلة من خلال بحث واحد.

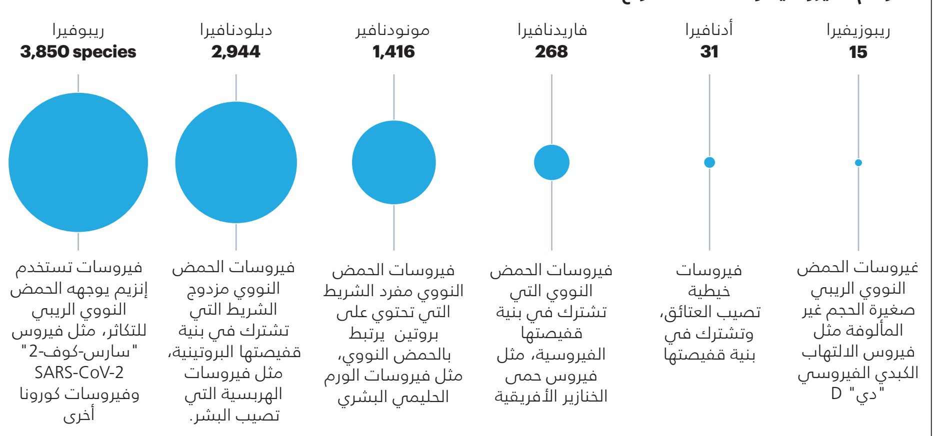
وهذه الأساليب البحثية قد تَنْجُم عنها - بطريق الخطأ - تسلسلات جينومية خاطئة. ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أن الباحثين يستعينون بوسائل رقابة على جودة عمليات تحديد التسلسل الجيني، للحيلولة دون حدوث ذلك، بيد أنه تبقى هناك ثغرات في معرفتنا بهذه الكائنات. فعلى سبيل المثال، تراوغ الأنواع الفيروسية التي تتسم بالتنوع الكبير بين أفرادها العلماء، وتكون عصية على الاكتشاف، نظرًا إلى أنه من الصعب على البرامج الحاسوبية تجميع تسلسلاتها المتباينة.

ويكمن حل بديل في تعيين تسلسل جينومات الفيروسات، كل على حدة، كما يفعل مانويل مارتينيز-جارثيا، اختصاصي

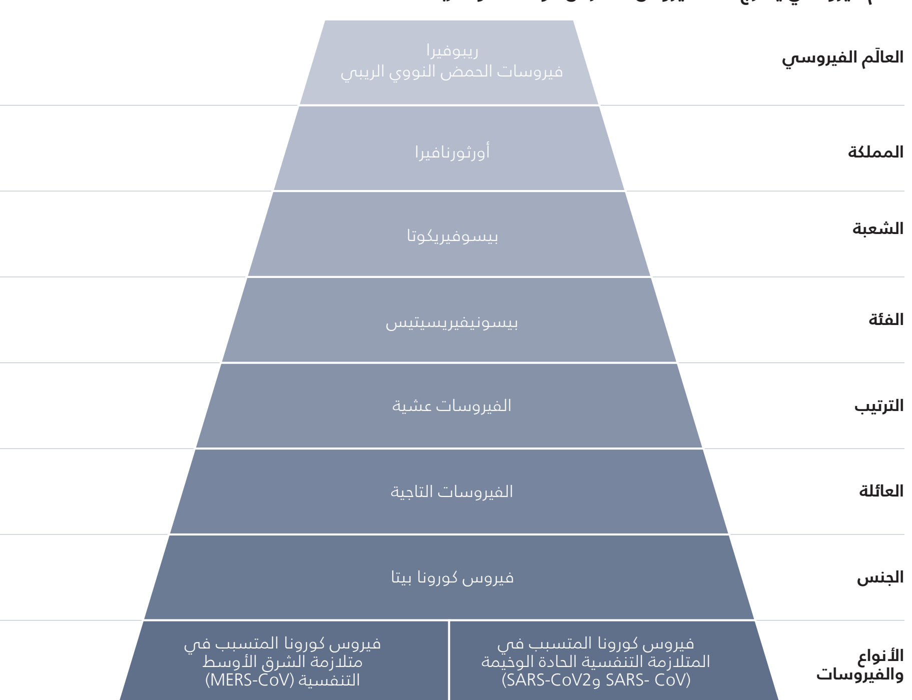
العوالم الفيروسية

تختلف الفيروسات عن أشكال الحياة الخلوية في أن ليس لها أصل واحد مشترك، وهو ما يجعل وضع شجرة لتاريخها التطوُّري مهمة مستحيلة. وبدلًا من ذلك، أقرت اللجنة الدولية لتصنيف الفيروسات في عام 2021 وجود ستة عوالم فيروسية، تحددت بناءً على أوجه التشابه بين الجينات والبروتينات في فيروساتها التي ينحدر كل منها عن أصل واحد مشترك.

العوالم الفيروسية وفقًا لعدد الأنواع



عالَم فيروسي يندرج تحته فيروس "سارس-كوف-2" وأقاربه



SOURCE: ICTV (TALK.ICTVONLINE.ORG/TAXONOMY); ICTV CORONAVIRIDAE STUDY GROUP. NATURE MICROBIOL. 5, 536–544 (2020)

علم الأحياء الدقيقة من جامعة أليكانتي بأسبانيا. فقد حاول مارتينيز-جارثيا أن يُقطِّر مياه البحر من خلال ماكينة تصفية، حتى يتمكن من عزل فيروسات مفردة، ثم قام بتكبير الحمض النووي الخاص بها، ومن ثم شرع في وضع التسلسل الجينومي الخاص بها.

وجد مارتينيز-جارثيا 44 جينومًا فيروسيًّا في أول محاولة قام بها، تبين أن أحدها يُمثل أحد أكثر أنواع الفيروسات وفرة في المحيطات[6]. وهو فيروس شديد التنوع، حيث تتباين القطع الجينية المكوِّنة له تنوعًا شديدًا من جسيم إلى آخر به، إلى حد جعل الجينوم الخاص به لا يتضح في دراسات الميتاجينوم من قبل. وقد أطلق عليه فريق البحث اسم 37-F6، وفقًا لموقعه على طبق المختبر الأصلي، بيد أن مارتينيز-جارثيا يمزح قائلًا إن اسم الفيروس يجب أن يكون 007 مثلما يُطلَق على شخصية الجاسوس الخيالية الشهيرة جيمس بوند، نظرًا إلى قدرته الفائقة على الاختفاء وهو على مرأى من الباحثين.

شجرة عائلات الفيروسات

لا يزال هذا الفيروس الذي يُعَد بمثابة جيمس بوند بين فيروسات المحيطات يفتقر إلى اسم لاتيني رسمي للإشارة إلى نوعه، وهو الحال مع آلاف من جينومات الفيروسات التي اكتشفتها دراسات الميتاجينوم على مدار السنوات العشر الماضية. وقد شكلت هذه الفيروسات معضلة للجنة الدولية لتصنيف الفيروسات، تمثلت في اللغز الآتي: هل يكفي تحديد التسلسل الجينومي لتسمية الفيروس؟ حتى عام 2016، وباستثناءات نادرة، كانت عملية عرض أي فيروس جديد أو مجموعة تصنيفية جديدة على اللجنة الدولية لتصنيف الفيروسات تتطلب من العلماء وضع الفيروس والكائن المضيف له في بيئة استنباتية، لكن في عام 2016، وبعد جدل محتدم، لكنه قائم على الود، اتفق اختصاصيو علم الفيروسات على أن عرض التسلسل الجينومي وحده يكفي[7].

وهنا انهمرت على اللجنة مقترحات الباحثين بإدراج فيروسات ومجموعات فيروسية جديدة في قائمتها. ومع هذا، فقد بقيت العلاقات التطورية بين هذه الفيروسات مبهمة في كثير من الأحيان، إذ غالبًا ما يصنِّف المختصون الفيروسات على أساس أشكالها (على سبيل المثال، بناء على ما إذا كانت طويلة، أم رفيعة، أم ذات رأس وذيل)، أو على أساس جينوماتها (سواء وفق تسلسل الحمض النووي، أم الحمض النووي الريبي، أو ما إذا كان الحمض النووي أو الحمض النووي الريبي مفردَي الشريط، أم مزدوجَي الشريط)، إلا أنه من المفاجئ أن هذه التصنيفات لا تدلّنا على الكثير مما يتعلق بالنَّسب المشترك للفيروسات. فعلى سبيل المثال، نجد أن الفيروسات التي تملك جينومات مؤلَّفة من الحمض النووي مزدوج الشريط قد نشأت على أربع فترات منفصلة، على أقل تقدير.

أما التصنيف الأصلي، الصادر عن اللجنة الدولية لتصنيف الفيروسات، ولا يمت بأي صلة إلى شجرة حياة الكائنات الخلوية، فلم يُدرِج سوى الدرجات الدنيا من التسلسل الهرمي التطوري، بدءًا من النوع والجنس، وصولًا إلى مستوى الرتبة، وهي درجة تعادلها الرئيسيات والأشجار ذات الأقماع في تصنيف الكائنات متعددة الخلايا. لم يتضمن هذا التصنيف مستويات أعلى. وعليه، فقد بقيت عائلات من الفيروسات هائمة وحدها في شجرة التطور، دون إيجاد العلاقة بينها وبين الأنواع الفيروسية الأخرى. ولهذا، فقد أضافت اللجنة الدولية لتصنيف الفيروسات في عام 2018 مستويات أعلى، مثل الصنف، والشعبة، والمملكة[8].

وقد وضعت اللجنة الدولية لتصنيف الفيروسات مستوى "العالَم الفيروسي" realm في أعلى المراتب، ليكون بمثابة نظير لمستوى "النطاق" domain بين أشكال الكائنات وحيدة الخلية، مثل البكتيريا، والعتائق، وحقيقيات النوى، لكن مع استخدام مصطلح مختلف للتفرقة بين الشجرتين. (وقد لفت بعض العلماء قبل عدة أعوام إلى إمكان إدراج بعض الفيروسات ضمن تصنيفات الشجرة التطورية الخلوية، لكنها فكرة لم تلق استحسانًا كبيرًا).

ووضعت اللجنة الدولية لتصنيف الفيروسات تصورًا لفروع شجرة تصنيف الفيروسات، ثم قامت بإدراج الفيروسات المؤلَّفة من الحمض النووي الريبي معًا ضمن عالم فيروسي يُسمى *Riboviria*. ويقع فيروس "سارس-كوف-2" SARS-CoV-2 وغيره من فيروسات كورونا ذات الجينومات المؤلَّفة من حمض نووي ريبي مفرد الشريط ضمن هذا العالم الفيروسي، لكنْ ظل إدراج مجموعات تصنيفية أخرى متروكًا لمجتمع اختصاصيّ علم الفيروسات الأوسع. وقد شكل يوجين كونن، اختصاصي علم الأحياء التطوري من المركز القومي لمعلومات التكنولوجيا الحيوية في مدينة بيثيسدا بولاية ميريلاند الأمريكية، فريقًا بحثيًّا يسعى لتحليل الجينومات الفيروسية كافة، ودراسة آخِر الأبحاث التي تتناول بروتينات الفيروسات، وذلك بهدف إصدار مسودة تصنيفية أولية[9].

وقد أعاد الفريق ترتيب شجرة عالم *Riboviria*، واقترح إدراج ثلاثة عوالم أخرى (انظر: "العوالم الفيروسية") في شجرة تصنيف الفيروسات. ويذكر كونن نشوب جدل حول بعض تفاصيل كيفية القيام بذلك. ومع ذلك، فقد قام أعضاء اللجنة الدولية لتصنيف الفيروسات في عام 2020 بالتصديق على التصنيف، دون أن تواجهه عقبات كثيرة. وفي عام 2021، أُجيز اقتراح بإدراج عالَمين فيروسيين جديدين في شجرة تصنيف الفيروسات، لكن كونن يرى أن العوالم الفيروسية الأربعة الأصلية ستظل - على الأرجح - هي الأوسع والأعم. ويتوقع أن يصل عدد العوالم الفيروسية إلى 25 عالَمًا مع مرور الوقت.

ويؤكد هذا الرقم شكوك بعض الباحثين حول عدم وجود نَسب واحد مشترك للفيروسات. وعن ذلك يقول كونن: "ما مِن أصلٍ واحد للفيروسات كافة. ببساطة، لا يوجد شيء

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

كهذا". وهذا يعني أن الفيروسات قد نشأت - على الأرجح - على عدة مراحل، وفي أوقات مختلفة على مدار تاريخ الحياة على الأرض. وما من سبب يدعونا للاعتقاد أن تلك النشأة لن تتكرر مرة أخرى. يقول مارت كروبوفيتش، اختصاصي علم الفيروسات من معهد باستور في باريس، الذي شارك في قرارات اللجنة الدولية لتصنيف الفيروسات، ويعمل ضمن فريق كونِن للتصنيف: "ما زلنا نكتشف أصولًا جديدة للفيروسات الجديدة".

أما فيما يتعلق بكيفية نشوء العوالم الفيروسية، فنجد أن اختصاصيي علم الفيروسات يقدمون تفسيرات مختلفة لذلك. فقد تكون هذه العوالم قد تطورت من عناصر جينية مستقلة عن بعضها البعض منذ فجر الحياة على الأرض، قبل حتى تكوُّن الخلايا. وربما تكون قد تسربت أو "انحدرت" من خلايا مكتملة، بعد أن تخلصت من معظم الآليات الخلوية، لكي تتمكن من تحقيق أسلوب حياة يعتمد على عناصر بسيطة. أما كونِن وكروبوفيتش، فيميلان إلى فرضية تَجْمَع بين كل هذه الفرضيات، مفادها أن تلك العناصر الجينية البدائية قد سرقت جينات من أشكال الحياة الخلوية، لكي تبني جسيماتها الفيروسية. كما يضيف كونِن الذي شغل أيضًا منصبًا في اللجنة الدولية لتصنيف الفيروسات، وكان جزءًا من فريق العمل على مقترح التصنيف الجديد، إنه من المحتمل أن تكون الفيروسات قد نشأت بطرق متعددة، نظرًا إلى أن لها أصولًا متعددة.

ولهذا، فبالرغم من أن شجرة عائلات الفيروسات تختلف عن شجرة عائلات الكائنات الخلوية، إلا أن أغصان الشجرتين تتلاقَى؛ فتنتقل الجينات بينهما. ويتوقف احتساب الفيروسات ضمن الكائنات "الحية" على تعريفك الخاص لمعنى الحياة. فالعديد من الباحثين لا يرون الفيروسات كائنات حية، في حين يختلف باحثون مع هذا الرأي. لذا، يقول هيرويوكي أوجاتا، اختصاصي نظم المعلومات الحيوية، الذي يدرُس الفيروسات في جامعة كيوتو في اليابان: "أجنح إلى القول بأن الفيروسات حية"، وأضاف قائلًا: "إن الفيروسات تتحور، ولديها مواد جينية تتألف من حمض نووي، وحمض نووي ريبي، كما أنها تلعب دورًا كبيرًا في تطور أشكال الحياة".

وينظر الكثيرون إلى التصنيف الحالي على أنه مجرد محاولة أولية، ويرى بعض اختصاصيي علم الفيروسات أنه تصنيف مربك بعض الشيء، إذ نجد أن عددًا من العائلات الفيروسية لا يزال غير مدرَج ضمن أي عوالم فيروسية. وحول ذلك يقول مارتينيز-جارثيا: "الجانب المشرق هنا أننا نحاول إدخال بعض النظام على هذه الفوضى".

الفيروسات تغيِّر العالَم

تُماثِل كتلة الفيروسات الموجودة على الأرض ما يعادل حجم 75 مليون حوت أزرق. والعلماء على يقين بأن الفيروسات تؤثر على شبكات الطعام، والأنظمة البيئية، وحتى الغلاف الجوي للأرض. وعلى سبيل المثال، يقول ماثيو سوليفان، اختصاصي علم الفيروسات البيئي من جامعة ولاية أوهايو في مدينة كولومبوس الأمريكية، إن تسارع وتيرة اكتشاف الفيروسات "قد كشف عن عدد هائل من الطرق غير المعروفة سابقًا، التي يمكن للفيروسات أن تؤثر بها على أنظمتنا البيئية"، بيد أن العلماء لا يزالون يسعون إلى حصر حجم هذا التأثير ومداه.

وحول ذلك يقول أوجاتا: "ليس لدينا تفسير مبسط لهذا التأثير في الوقت الحالي". ففي المحيطات، على سبيل المثال، يمكن للفيروسات أن تدفع خارجة من الكائنات الميكروبية المضيفة لها، وهو ما يُفرز كربونًا يعاد تدويره من خلال فيروسات أخرى تأكل أحشاء الكائن المضيف، وتنتج ثاني أكسيد الكربون، بيد أن العلماء بدأوا يدركون مؤخرًا أن الخلايا التي تخترقها الفيروسات خروجًا منها غالبًا ما تتكتل

SCOTT LESLIE/MINDEN PICTURES/ALAMY



كشفت دراسات أجريت على العناكب المدارية الغازلة ذات الظهور الشوكية المدببة عن فيروسين غير معروفين للعلماء.

مع بعضها البعض، وتغرق في قاع المحيط، وهو ما يعزل الكربون بعيدًا عن الغلاف الجوي.

ويقول سوليفان إن التربة الصقيعية الذائبة تُعَد مصدرًا مهمًّا للكربون على اليابسة، حيث يبدو أن الفيروسات تلعب دورًا كبيرًا في إطلاق الكربون من الميكروبات الموجودة في تلك البيئات. ففي عام 2018، قام سوليفان وزملاؤه بتوصيف 1907 من جينومات وشظايا فيروسات، جُمِعت من تربة صقيعية في السويد. وقد ضمت هذه الجينومات والشظايا جينات بروتينات قد تؤثر على تحلل مركبات الكربون، وإمكانية تحوُّله إلى غازات دفيئة[10].

"أعتقد أن الوقت الحاضر هو من نواحٍ عدة العصر الذهبي لدراسة الجينومات الفيروسية".

كما قد تؤثر الفيروسات على كائنات أخرى، عن طريق تحفيز جينوماتها. فعلى سبيل المثال، عندما تقوم الفيروسات بنقل الجينات المقاومة للمضادات الحيوية من بكتيريا إلى أخرى، قد يتسبب ذلك في هيمنة سلالات جديدة مقاوِمة للأدوية. ومن ثم، يقول كاماريو-جيريرو إنه مع مرور الوقت قد يتسبب هذا النوع من نقل الجينات في طفرات تطورية كبرى داخل جماعات البكتيريا. ولا يحدث هذا في البكتيريا فقط، إذ إن 8% تقريبًا من الحمض النووي البشري من أصل فيروسي. وعلى سبيل المثال، اكتسب أسلافنا من الثدييات جينًا من أصل فيروسي يلعب دورًا لا غِنًى عنه في عملية تطور المشيمة.

وسوف يحتاج العلماء إلى إجراء فحوص أخرى بخلاف فحوص الجينومات، حتى يمكنهم الإجابة عن العديد من الألغاز التي تتعلق بأنماط حياة الفيروسات، إذ سيتعين عليهم العثور على الكائن المضيف للفيروس. أما الفيروس ذاته، فقد يحمل للعلماء بعض القرائن. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يكون قد أُضيف له في الجينوم الخاص به جزء واضح من المادة الجينية الموجودة داخل الكائن المضيف.

وقد استخدم مارتينيز-جارثيا وزملاؤه علم جينوم الكائنات وحيدة الخلية للتعرُّف على الميكروبات التي تحوي فيروس 37-F6 المكتشَف حديثًا. وقد كان الكائن المضيف لهذا الفيروس واحدًا من أكثر الكائنات وفرة وتنوعًا في البحار، وهو بكتيريا تسمى Pelagibacter[11]، وتمثل نصف الخلايا الموجودة في بعض أنواع المياه. وعليه، يقول جارثيا-مارتينيز إن اختفاء مفاجئًا لهذا النوع من الفيروسات وحده قد يصيب الحياة في المحيطات بخلل شديد.

أما أليكساندرا فوردن، اختصاصية علم البيئة التطوري من مركز جيومار هيلمهولتس لأبحاث المحيطات في مدينة كيل بألمانيا، فترى أن العلماء يحتاجون إلى دراسة كيف يدخل الفيروس التغييرات على الكائن المضيف، كي يمكنهم فهم التأثير الكامل للفيروس. وتعكف فوردن على دراسة فيروسات عملاقة تحمل جينات بروتينات مجمِّعة للضوء، تُسمى بروتينات "الصباغ البنفسجي". ومن الناحية النظرية، يمكن أن تكون هذه الجينات مفيدة للكائن المضيف في وظائف معينة، مثل نقل الطاقة، أو التأشير، لكن لا يمكن تأكيد ذلك من خلال التسلسل الجينومي للفيروس. وتعتزم فوردن استنبات الكائن المضيف والفيروس معًا، ودراسة سلوك كليهما في الحالة المركبة القائمة على غزو الفيروس للخلية. وتقول فوردن: "إن بيولوجيا الخلايا هي السبيل الوحيد لتحديد الدور الحقيقي للفيروس، وتأثيراته على دورة الكربون".

أما في فلوريدا، فإن برايتبارت لم تستنبت فيروسات العناكب التي جمعتها. ومع ذلك، فقد تمكنت من الكشف عن المزيد من المعلومات عن هذه الفيروسات. ينتمي زوج الفيروسات الذي اكتشفته برايتبارت إلى فئة مدهشة من الفيروسات، على حد وصف العالمة، وذلك نظرًا إلى الجينومات الدائرية دقيقة الحجم لهذه الفيروسات، التي تقوم بترميز جين واحد فقط للحصول على البروتين اللازم لقفيصتها، وجين آخر للحصول على البروتين اللازم للتكاثر. وينحصر وجود أحد هذين الفيروسين في جسم العنكبوت، في حين لا يوجد في ساقيه. ولهذا، تعتقد برايتبارت أن الفيروس في الواقع يصيب بعض الكائنات التي يأكلها العنكبوت. أما الفيروس الثاني، فيمكن العثور عليه في أنحاء جسم العنكبوت كافة، وكذلك في البيض الذي يضعه، وفي العناكب الوليدة، وهو ما دفع برايتبارت إلى الاعتقاد بأنه ينتقل من أحد الأبوين إلى النسل[12]، إلا أن برايتبارت تضيف قائلة إن الفيروس – على حد علمها - لا يبدو أنه يتسبب للعناكب في أي ضرر.

وتقول برايتبارت: "إن العثور على الفيروسات هو أسهل مراحل الدراسة" . أما الجزء الأصعب، فهو تحديد الطريقة التي تؤثر بها الفيروسات على دورة حياة الكائن المضيف، والنظام البيئي المحيط به. وتضيف برايتبارت قائلة إن اختصاصيي علم الفيروسات يتعين عليهم أولًا الإجابة عن واحد من أصعب الأسئلة على الإطلاق: "كيف تختار الفيروس الذي ستجري عليه الأبحاث؟".

آمبر دانس صحفية علمية مقيمة في مدينة لوس أنجيليس بولاية كاليفورنيا الأمريكية.

1. Rosario, K. *et al. PeerJ* **6**, e5761 (2018).
2. Schulz, F. *et al. Science* **356**, 85–85 (2017).
3. Schulz, F. *et al. Nature* **578**, 432–436 (2020).
4. Camarillo-Guerrero, L. F., Almeida, A., Rangel-Pineros, G., Finn, R. D. & Lawley, T. D. *Cell* **184**, 1098–1109.e9 (2021).
5. Callanan, J. *et al. Sci. Adv.* **6**, eaay591 (2020).
6. Martinez-Hernandez, F. *et al. Nature Commun.* **8**, 15892 (2017).
7. Simmonds, P. *et al. Nature Rev. Microbiol.* **15**, 161–168 (2017).
8. International Committee on Taxonomy of Viruses Executive Committee. *Nature Microbiol.* **5**, 668–674 (2020).
9. Koonin, E. V. *et al. Microbiol. Mol. Biol. Rev.* **84**, e00061-19 (2020).
10. Emerson, J. B. *et al. Nature Microbiol.* **3**, 870–770 (2018).
11. Martinez-Hernandez, F. *et al. ISME J.* **13**, 232–236 (2019).
12. Rosario, K., Mettel, K. A., Greco, A. M. & Breitbart, M. *J. Gen. Virol.* **100**, 1253–1265 (2019).



AUDI AG

تجميع بطاريات سيارة كهربائية في محطة إنتاج شركة «أودي» في بروكسِل.

تحدِّي بطاريات السيارات الكهربائية

يُزمع أن تصبح إعادة تدوير البطاريات والتقليل من استخدام المعادن النادرة ركيزتين أساسيتين في تحوُّل العالم إلى المَرْكَبات الكهربائية. **بقلم دافيديه كاستيلفيكي**

نحن على أعتاب عصر السيارات الكهربائية. ففي وقتٍ سابق من العام الجاري، أعلنت شركة السيارات الأمريكية العملاقةُ «جنرال موتورز» General Motors أنها تسعى إلى وقف بيع موديلات السيارات المُدارة بالبنزين والديزل بحلول عام 2035. وتخطط شركة «أودي» Audi، ومقرها ألمانيا، لوقف إنتاج هذه المركبات بحلول عام 2033. وقد طرح الكثير من شركات صناعة السيارات متعددة الجنسيات الأخرى خططًا مشابهة. وعلى نحوٍ مفاجئ، بدأ إعراض شركات صناعة السيارات الكبرى عن إنتاج السيارات الكهربائية يتحول إلى اندفاع نحو تصنيع السيارات التقليدية.

إنّ تحوُّل مركبات النقل الشخصية إلى استخدام الكهرباء يشهد تسارعًا على نحوٍ لم يكن يحلم به حتى أكثر أنصار هذا الاتجاه تحمسًا قبل سنوات قلائل. وفي الكثير من البلدان، يُزمع أن تعمل أوامر رسمية حكومية على الإسراع من وتيرة هذا التغيير. وحتى بدون فرض سياسات أو لوائح تنظيمية جديدة، سوف تُمثِّل مبيعات السيارات الكهربائية نصف مبيعات سيارات الركاب الخاصة على مستوى العالم في عام 2035، وفقًا لما أعلنته شركة «بلومبيرج إن إي إف» BloombergNEF الاستشارية في لندن.

كما صرَّحت الوكالة الدولية للطاقة (IEA) في شهر مايو[1] الماضي أن هذه النقلة الصناعية الهائلة بمثابة "تحوُّل من نظام طاقة يتسم بكثافة استهلاكه للوقود إلى نظام طاقة كثيف في استهلاكه للمواد. ففي العقود القادمة، يُرتقَب أن تنطلق مئات الملايين من المركبات إلى الطرق، حاملة بداخلها بطاريات ضخمة (انظر "التحوُّل إلى الكهرباء"). ويتوقع أن يحتوي كل من هذه البطاريات على عشرات الكيلوجرامات من المواد التي لم تُستخرج بعد.

ويتوقع علماء المواد أن تهيمن المركبات الكهربائية على عالمنا. ولذا، يسعون لمواجهة تحديين كبيرين. أما التحدي

الأول، فيتمثل في كيفية التقليل مما يُستخدَم في البطاريات من معادن نادرة أو باهظة الثمن، أو مُسبِّبة للمشكلات؛ إذ تترتب على استخراجها كُلفة بيئية واجتماعية باهظة. أما التحدي الثاني، فيتمثل في تحسين عملية إعادة تدوير البطاريات، بحيث يمكن إعادة استخدام المعادن النفيسة في بطاريات السيارات المستهلكة بكفاءة. وفي ذلك الصدد، يقول كواسي أمبوفو، أحد مهندسي التعدين، وكبير المحللين المعنيين بالفلزات والتعدين لدى شركة "بلومبيرج إن إي إف": "ستلعب عملية إعادة التدوير دورًا محوريًّا في هذا المزيج من الإجراءات".

وقد أخذت جهات تصنيع البطاريات والسيارات تنفق بالفعل مليارات الدولارات على تقليل تكاليف تصنيع بطاريات المركبات الكهربائية وإعادة تدويرها. ويرجع هذا في جزء منه إلى الحوافز التي تقدمها الحكومات في هذا الصدد، وتوقُّع هذه الجهات لصدور قوانين ولوائح تنظيمية جديدة. كما أسست جهات تمويل الأبحاث الوطنية مراكز، بهدف دراسة سُبُلٍ أفضل لتصنيع البطاريات وإعادة تدويرها. ونظرًا إلى أن استخراج المعادن لا يزال أقل تكلفةً من إعادة تدويرها في أغلب الأحيان، يتمثل أحد الأهداف الأساسية في هذا السباق في تطوير عملياتٍ لاستعادة المعادن النفيسة بتكلفة بسيطة إلى حد يسمح بمنافسة صناعة المعادن المستخرَجة حديثًا. وحول ذلك، يقول جيفري شبانجنبرجر، وهو مهندس كيميائي من مختبر آرجون الوطني في ليمونت بولاية إلينوي الأمريكية، ويدير مبادرة إعادة تدوير بطاريات أيون الليثيوم، وهي مبادرة تموِّلها الحكومة الفيدرالية الأمريكية وتحمل اسم "ريسيل" ReCell: "العامل الحاسم في الأمر هو المال".

مستقبل الليثيوم

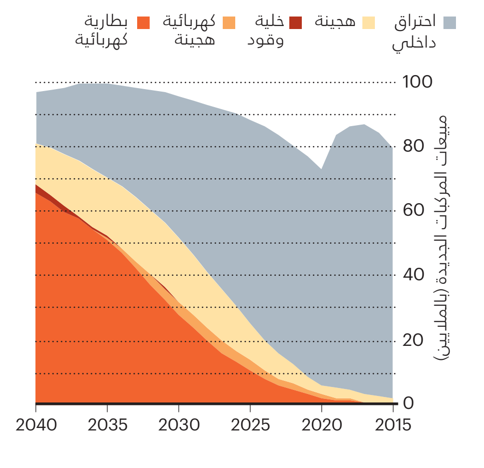
التحدي الأول الذي يواجهه الباحثون هو تقليل كميات المعادن التي تحتاج إليها صناعة بطاريات المَركبات الكهربائية. وتتباين هذه الكميات بناءً على نوع البطارية، وموديل المركبة، لكن حِزْمة بطارية أيون الليثيوم الواحدة (من نوع يُطلق عليه «NMC532») قد تحتوي على ما يقرب من 8 كيلوجرامات من الليثيوم، و35 كيلوجرامًا من النيكل، و20 كيلوجرامًا من المنجنيز، و14 كيلوجرامًا من الكوبالت، وفقًا للأرقام التي كشف عنها مختبر آرجون الوطني.

ولا يتوقع المحللون للأوضاع التخلي عن بطاريات أيون الليثيوم في وقتٍ قريب؛ إذ انخفضت تكلفتها بشدة لدرجة أنها قد تصبح التقنية المهيمنة في المستقبل المنظور؛ فهي الآن أرخص 30 مرة مما كانت عليه عندما طُرحت في السوق للمرة الأولى كبطارياتٍ صغيرة يمكن حمْلها، وذلك في أوائل تسعينيات القرن العشرين، رغم حتى تحسُّن أدائها. وتتوقع شركة «بلومبيرج إن إي إف» أن تنخفض تكلفة حِزْمة بطاريات أيون الليثيوم المخصَّصة للمركبات الكهربائية إلى ما دون 100 دولار أمريكي لكل كيلووات ساعة بحلول عام 2023، أو إلى سعر أقل بنسبة 20% تقريبًا من سعرها الحالي (انظر: "انخفاض تكاليف البطاريات"). وبناءً على ذلك، من المتوقع أن تغدو أسعار السيارات الكهربائية – التي لا تزال أغلى ثمنًا من السيارات التقليدية – معادِلة لأسعار السيارات العادية بحلول منتصف عشرينيات القرن الواحد والعشرين. (وتشير تقديرات إلى أن السيارات الكهربائية أرخص تكلفة بالفعل من المَركبات التي تعمل بالبنزين على مدار عمرها الافتراضي، بفضل كونها أقل تكلفة في تشغيلها وصيانتها).

ولإنتاج الكهرباء، تعمل بطاريات أيون الليثيوم على نقل أيونات الليثيوم داخليًّا من طبقةٍ يُطلَق عليها الأنود إلى أخرى يُطلَق عليها الكاثود. وتَفصِل بين الطبقتين طبقةٌ ثالثة، يُطلَق عليها الإلكتروليت. والقطب السالب (الكاثود) هو العامل

التحوُّل إلى السيارات الكهربائية

يُرجِّح أحد التوقعات أنه بحلول عام 2035، سوف تُمثِّل السيارات الكهربائية أكثر من نصف سيارات الركاب الجديدة المباعة على مستوى العالم، حتى بدون فرض سياسات جديدة لتعزيز هذا التحوُّل.



الحاسم الأبرز في أداء البطارية، وهو الموضع الذي يحتوي على أعلى المعادن قيمةً في البطارية.

وكاثود بطارية أيون الليثيوم يتألف عادةً من طبقة رقيقة لزجة تحتوي على بلورات متناهية الصغر، غالبًا ما تشبه بِنْيتها تلك الخاصة ببلورات المعادن الموجودة بشكل طبيعي في قشرة أو دثار الأرض، مثل الزبرجد الزيتوني، والإسبينيل. وتعمل هذه البلورات على تجميع الأكسجين سالب الشحنة مع الليثيوم موجب الشحنة وفلزات أخرى متنوعة، تكون في أغلب السيارات الكهربائية مزيجًا من النيكل، والمنجنيز، والكوبالت. وإعادة شحن البطارية تؤدي إلى دفع أيونات الليثيوم خارج بلورات الأكسيد هذه، وتسحب الأيونات إلى أنود قائم على الجرافيت، حيث تُخزَّن فيه تلك الأيونات، وتُحشَر بين طبقات من ذرات كربون (انظر: "اللب الكهربائي").



"ستلعب عملية إعادة التدوير دورًا محوريًّا في هذا المزيج من الإجراءات".

والليثيوم نفسه ليس نادرًا. فوفقًا لتقديرات تقرير صادرٍ في يونيو عن شركة «بلومبيرج إن إي إف»[2]، فإن الاحتياطي الحالي لليثيوم، الذي يبلغ 21 مليون طن، حسب ما ذكرته هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، يكفي للمضي قدمًا في جهود التحوُّل إلى المركبات الكهربائية التي تنتهي في منتصف القرن الواحد والعشرين. والاحتياطي مفهوم مرن؛ لأنه يعبر عن كميةً من مورد ما يمكن التقصُّد في استخراجه بالأسعار الحالية، استنادًا إلى متطلبات تقنية ورقابية حالية. وفي حال أغلب المواد، إذا ارتفع معدل الطلب، يزداد الاحتياطي أيضًا في نهاية المطاف.

ويوضح أمبوفو أنه مع التحوُّل إلى السيارات الكهربائية، تكمن التحديات في زيادة إنتاج الليثيوم لتلبية الطلب، إذ يقول: "سوف يشهد إنتاجه نموًّا بمعدل سبعة أضعاف تقريبًا في الفترة ما بين عامي 2020، و2030".

وقد يؤدي هذا إلى نقصٍ مؤقت وتقلباتٍ كبيرة في الأسعار، على حد قول أمبوفو، بيد أن الأزمات السوقية المؤقتة لن تغير المشهد على المدى الطويل. يقول هاريش كاماث، اختصاصي تخزين الطاقة من معهد أبحاث الطاقة الكهربائية (EPRI) في مدينة بالو ألتو بولاية كاليفورنيا: "مع تنامي القدرة على معالجة الليثيوم، سيزول هذا النقص على الأرجح".

والزيادة في عمليات التعدين لاستخراج الليثيوم تنطوي على مشكلات بيئية، فطرق استخراجه الحالية تتطلب كمياتٍ كبيرة من الطاقة (في حال الليثيوم المستخرَج من الصخور)، أو الماء (في حال الليثيوم المستخرَج من المحاليل الملحية)، غير أن ثمة أساليب أحدث، تُعَد أقل في خسائرها، يُستخرج بها الليثيوم من ماء الحَمَّة، باستخدام الطاقة الحرارية الجوفية. وبالرغم من هذه الكُلفة البيئية، سوف تساعد عمليات التعدين لاستخراج الليثيوم في التخلي عن استخراج الوقود الحفري المدمر.

وتساوِر الباحثين مخاوف مما يتعلق بالكوبالت، الذي يُعَد العنصر الأنفس في بطاريات المركبات الكهربائية الحالية، إذ يُستخرج ثلثا المعروض منه عالميًّا من جمهورية الكونغو الديمقراطية. وقد أعرب نشطاء في مجال حقوق الإنسان عن مخاوف بسبب ظروف تعدين الكوبالت هناك، لا سيما فيما يتعلق بعمالة الأطفال، والضرر الذي يلحق بصحة العمال؛ فمثل المعادن الثقيلة الأخرى، يغدو الكوبالت عنصرًا سامًّا إذا لم يتم التعامل معه بالطريقة الملائمة. ويمكن استغلال مصادر بديلة، مثل "العُقيدات" الغنية بهذا المعدن، التي توجد في قيعان البحار، لكنها مصادر تنطوي هي الأخرى على مخاطر بيئية. كما قد يحدث نقصٌ في النيكل، وهو مكونٌ آخَر رئيس من مكونات بطاريات المركبات الكهربائية[3].

إدارة المعادن

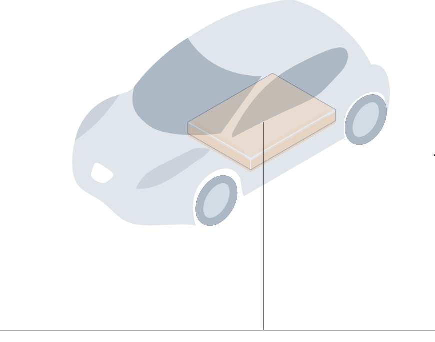
في سبيل التغلب على إشكاليات المواد الخام هذه، أُجرَى عددٌ من المختبرات تجارب باستخدام الأقطاب السالبة (الكاثودات) منخفضة الكوبالت، أو الخالية منه، بيد أن مواد الكاثود يجب أن تُصمَّم بعناية، بحيث لا تتفكك بِناها البلورية، حتى إذا زال أكثر من نصف أيونات الليثيوم في أثناء شحن البطارية. والتخلي عن الكوبالت تمامًا يؤدي في أغلب الأحيان إلى خفض كثافة طاقة البطارية، على حد قول أروموجام مانثيرام من جامعة تكساس في أوستِن، إذ إن ذلك يؤدي إلى تغيير البِنْية البلورية للكاثود، والتأثير في قوة ارتباطه بالليثيوم.

يُعَد مانثيرام أحد الباحثين الذين تمكَّنوا من حل هذه المشكلة - مختبريًّا على الأقل - عن طريق إثبات أن الكوبالت يمكن استبعاده من تركيب الكاثود، دون أن يؤثر ذلك على أداء البطارية[4]. ويوضح مانثيرام ذلك قائلًا: "المادة الخالية من الكوبالت، التي أفدنا باكتشافها، تتمتع بالبِنْية البلورية نفسها التي يتمتع بها أكسيد ليثيوم الكوبالت، ومن ثم تتسم بكثافة الطاقة نفسها"، بل بكثافة أفضل. وقد أحرز فريقه هذا الإنجاز عن طريق ضبط الطريقة التي يُنتَج بها الكاثود، وإضافة كميات صغيرة من مواد أخرى، مع الاحتفاظ في الوقت ذاته بِبِنْية أكسيد الكوبالت البلورية التي يمتاز بها الكاثود. ويرى مانثيرام أنه يجب المضي قدمًا في تبَنِّي هذا النهج في المصانع القائمة حاليًّا. وقد أسَّس شركة ناشئة تُسمى «تكسباور» TexPower، في محاولة لطرح هذا النهج في الأسواق خلال العامين المقبلين. وتعكف مختبراتٌ أخرى حول العالم على تصميم بطاريات خالية من الكوبالت. وتجدر الإشارة هنا إلى أن شركة «تسلا» Tesla - على وجه الخصوص، وهي شركة رائدة في مجال المركبات الكهربائية، ومقرها مدينة بالو ألتو بولاية كاليفورنيا - صرحت أنها تخطط للتخلي عن الكوبالت في إنتاج بطارياتها خلال الأعوام القليلة المقبلة.

أحرز متخصص آخر في علم المواد يُسمى صن

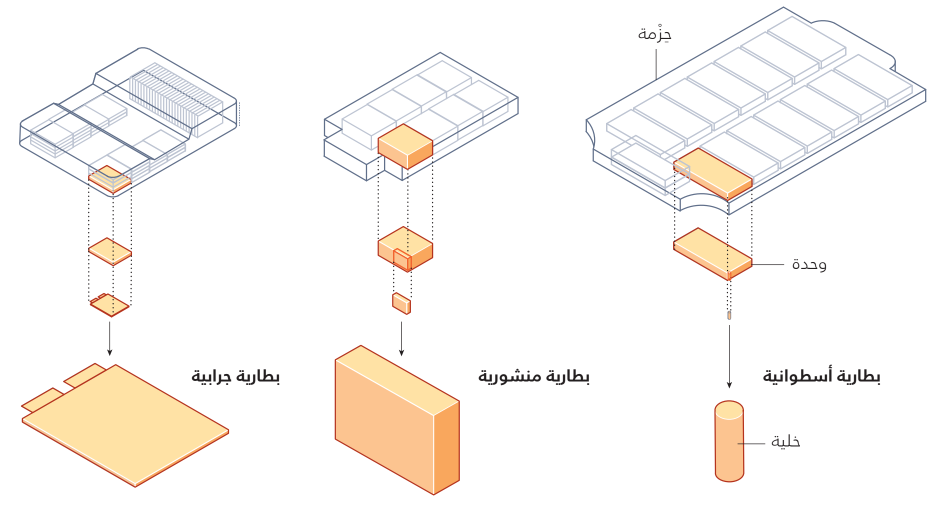
اللب الكهربائي

جزَم البطاريات في المركبات الكهربائية مصنوعة من آلاف الخلايا، ومزودة بإلكترونيات للتحكم في عمليتَي الشحن وتفريغ الشحن. ولتجنب السخونة الشديدة، تشتمل بعض الوحدات على نظام تبريدٍ نشط. وتحمل جزْمة البطارية عشرات الكيلوجرامات من المعادن النفيسة، التي يأمل الباحثون في أن يزيدوا سهولة إعادة تدويرها، وأن يقللوا من الكميات المطلوبة منها في التصميمات المستقبلية.



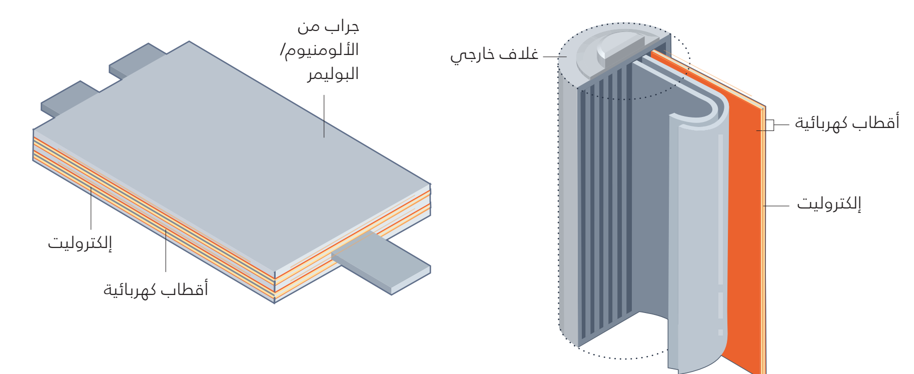
جزَم البطاريات

تتخذ خلايا البطاريات أشكالًا شتى، فمنها الأسطواني، والمنشوري، والجرابي، وهي مُرتَّبة في وحدات يتم تجميعها في جزَم. وهذه الجِزَم عادة ما تُلحَم وتُلصق معًا، وهو ما يجعل تفكيكها صعبًا في نهاية دورة حياتها.



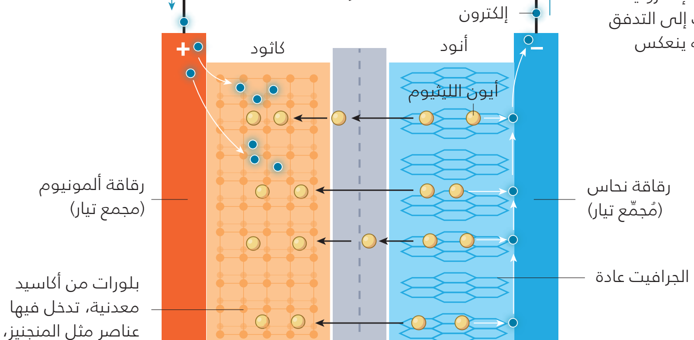
بِنْية الخلية

يُطوى ويلتف بداخل الخلايا القطبان الكهربائيان (الأنود والكاثود) الشبيهان بالألواح، أو يتم دَسُّهما إلى جوار بعضهما البعض، حيث يَشغَل الإلكتروليت الحيز بينهما.



كيمياء الخلية

تُولِّد خلايا أيون الليثيوم الكهرباء عندما تسري أيونات الليثيوم من الأنود عبر الإلكتروليت إلى الكاثود، دافعةً الإلكترونات إلى التدفق حول دارة خارجية. وهذه العملية ينعكس مسارها خلال الشحن.



SOURCE: ADAPTED FROM G. HARPER *ET AL. NATURE* **575**, 75–86 (2019) AND G. OFFER *ET AL. NATURE* **582**, 485–487 (2020).

يانج-كوك، من جامعة هانيانج في سول بكوريا الجنوبية، إنجازًا مشابهًا فيما يتعلق بالكاثود الخالي من الكوبالت. يقول صن إن بعض المشكلات الفنية قد تظل قائمةً عند تصميم هذا الكاثود الجديد، لأن عملية التصميم هذه تعتمد على تنقية الخامات الغنية بالنيكل، وهو ما قد يتطلب أجواء من الأكسجين النقي باهظة التكلفة، غير أن الكثير من الباحثين صاروا يعتقدون أن مشكلة الكوبالت قد حُلَّت في واقع الأمر. وحول ذلك، يقول جيف دان، عالم الكيمياء من جامعة دالهاوزي في مدينة هاليفاكس الكندية، إن مانثيرام وصن "أثبتا أننا نستطيع صنع مواد جيدة بحق، دون الكوبالت، وتلك المواد قادرةٌ على إظهار أداءٍ جيد بالفعل".

ورغم أن النيكل ليس باهظ التكلفة مثل الكوبالت، إلا أنه ليس رخيص الثمن. ولذا، يأمل الباحثون في التخلي عنه أيضًا. من هنا، يقول جيربراند سيدر، اختصاصي علم المواد من مختبر لورانس بيركلي الوطني في مدينة بيركلي بولاية كاليفورنيا الأمريكية: "تغلبنا على مشكلة ندرة الكوبالت، ولكنْ نظرًا إلى أننا نتوسَّع بإيقاع متسارع للغاية في التحوُّل إلى السيارات الكهربائية، فإننا نتجه مباشرةً نحو مشكلة تتعلق بالنيكل"، بيد أن التخلي عن كل من الكوبالت والنيكل سيتطلب تحوُّلًا إلى بِنى بلورية مختلفة اختلافًا جذريًّا فيما يتعلق بمواد الكاثود.

يتمثل أحد الأساليب التي تتيح ذلك في الاستعانة بمواد تسمى الأملاح الصخرية غير المنتظمة. وسبب تسميتها بهذا الاسم هو بِنْيتها البلورية المُكعَّبة، التي تشبه بِنْية كلوريد الصوديوم، حيث يقوم الأكسجين مقام الكلوريد، ويحل مزيج من المعادن الثقيلة محل الصوديوم. وعلى مدار العقد الماضي، أثبت فريق سيدر وفرق بحثية أخرى وجود أملاح صخرية معينة غنية بالليثيوم، تسمح لليثيوم بالتسرب دخولًا إليها وخروجًا منها. وتلك خاصية شديدة الأهمية في إتاحة الشحن المتكرر[5]، إلا أن الأملاح الصخرية غير المنتظمة لا تحتاج إلى الكوبالت أو النيكل لتحتفظ باستقرار حالتها خلال هذه العملية، وذلك على العكس من مواد الكاثود التقليدية. ومن اللافت للنظر أنه من الممكن أن تُصنع هذه الأملاح من المنجنيز، وهو رخيص الثمن ووفير، على حد قول سيدر.

تحسين عملية إعادة التدوير

إذا أصبحت في الإمكان صناعة البطاريات دون استخدام الكوبالت، فسوف يواجه الباحثون عواقب ليست في الحسبان. فهذا المعدن أهم عامل يجعل إعادة تدوير البطاريات عملية اقتصادية، لأن استخراج المواد الأخرى، لا سيما الليثيوم، أقل تكلفةً في الوقت الحالي من تكلفة إعادة تدويرها.

وفي محطات إعادة التدوير الاعتيادية، تُمزَّق البطاريات أولًا، وهو ما يحوِّل خلاياها إلى مزيج على هيئة مسحوق من جميع المواد المستخدَمة. ويجري تحليل هذا المزيج بعد ذلك إلى عناصره الأساسية، إما من خلال تسييله في مصهر (بعملية تعدين حراري)، أو عن طريق إذابته في حمض (بعملية تعدين رطب). وأخيرًا، تترسب المعادن من المحلول على هيئة أملاح.

تركَّزت الجهود البحثية على تحسين هذه العملية، لجعل إعادة تدوير الليثيوم جذابة من الناحية الاقتصادية. وتُنتِج الغالبية العظمى من بطاريات أيون الليثيوم في الصين، واليابان، وكوريا الجنوبية. وبناءً عليه، تشهد قدرات إعادة تدوير هذه البطاريات بتلك الدول أسرع معدلات النمو. فعلى سبيل المثال، تمتلك شركة «جوانجدونج برنب – Guangdong Brunp» التي تتخذ من مدينة فوشان مقرًّا لها، وتُعد إحدى الشركات التابعة لشركة «كونتيمبراري أمبريكس تكنولوجي» CATL، كبرى الشركات الصينية المُصنِعة لخلايا

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

أيون الليثيوم – القدرة على إعادة تدوير 120 ألف طن من البطاريات سنويًّا، وفقًا لما صرّح به متحدث رسمي باسم الشركة، وهو ما يعادل الكمية التي يمكن استخدامها في أكثر من 200 ألف سيارة. كما أن الشركة تمتلك القدرة على استعادة معظم الليثيوم، والكوبالت، والنيكل. وتسهم سياسات حكومية في تشجيع هذا الاتجاه، فعلى سبيل المثال، أقرت الصين بالفعل حوافز مالية وتنظيمية لشركات البطاريات التي تحصل على المواد من شركات إعادة التدوير، بدلًا من استيراد مواد مستخرَجة حديثًا، حسبما أوضح هانز إيريك ميلين، المدير الإداري لشركة «سيركيولار إنرجي ستوريدج» Circular Energy Storage، وهي شركة استشارية، مقرها لندن.

وقد وضعت المفوضية الأوروبية اشتراطاتٍ صارمة لإعادة تدوير البطاريات، يمكن أن تدخل حيز التنفيذ اعتبارًا من عام 2023، بالرغم من أن احتمالات تطوير الاتحاد الأوروبي لصناعة إعادة تدوير محلية غير مؤكدة[6]. وفي الوقت ذاته، ترغب إدارة الرئيس الأمريكي جو بايدن في إنفاق مليارات الدولارات لدعم نشأة صناعة محلية لتصنيع بطاريات المَركبات الكهربائية، ودعم عملية إعادة تدوير هذه البطاريات، لكنها لم تطرح بعد لوائح تنظيمية بخلاف التشريع الحالي الذي يُصنِّف هذه البطاريات كنفايات خطرة يجب التخلص منها بأمان. وقد صرحت شركات ناشئة في أمريكا الشمالية بأنها تستطيع بالفعل استعادة غالبية معادن البطاريات، بما في ذلك الليثيوم، بتكلفة تنافس تكلفة استخراج تلك المعادن، بالرغم من أن المحللين يرون أن الجدوى الاقتصادية عمومًا في هذه المرحلة لا يحققها إلا الكوبالت.

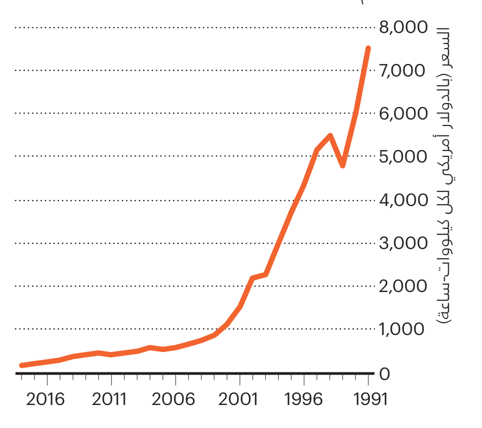
وثمة نهجٌ ثوري بدرجة أكبر يتمثل في إعادة استخدام بلورات الكاثود، بدلًا من تحليل بِنْيتها، مثلما الحال في التعدين الحراري والرطب. وتشمل مبادرة «ريسيل»، وهي مشروع تعاوني برأسمال قدره 15 مليون دولار أمريكي، يديره شبانجنبيرجر، وثلاثة مختبرات وطنية، وثلاث جامعات، والكثير من الشركات المسهمة في المجال. ويعكف القائمون على هذه المبادرة حاليًّا على ابتكار تقنيات من شأنها تمكين شركات إعادة تدوير البطاريات من استخراج بلورات الكاثود، وإعادة بيعها. فبعد تمزيق البطاريات، ثمة خطوة على درجة بالغة من الأهمية، تتمثَّل في فصل مواد الكاثود عن المكونات الأخرى باستخدام الحرارة، أو مواد كيميائية أو أي طرق أخرى. وحول ذلك، تقول ليندا جينز، اختصاصية الكيمياء الفيزيائية من مختبر آرجون وكبيرة المحللين في مبادرة «ريسيل»: "السبب وراء تحمُّسنا الشديد للاحتفاظ بهذه البِنْية البلورية هو أن تشكيل هذه البنية تطلَّب الكثير من الجهد والمعارف الفنية. وهي تنطوي على الكثير من الفوائد".

يمكن استخدام أساليب إعادة المعالجة هذه مع مجموعة متنوعة من البِنَى والتراكيب البلورية، حسبما تقول جينز، إلا أنه في حال تَلَقِّي أحد مراكز إعادة التدوير فيضًا من النفايات يشتمل على أنواع عديدة من البطاريات، فسوف ينتهي الحال بأنواع شتى من مادة الكاثود في مرجل إعادة التدوير. وهذا من شأنه أن يُعقِّد جهود فصل أنواع بلورات الكاثود المختلفة عن بعضها بعضًا. وبالرغم من أن العمليات التي طوَّرتها مبادرة «ريسيل» يمكن أن تفصل النيكل، والمنجنيز، والكوبالت بسهولة من الأنواع الأخرى من خلايا البطاريات، كتلك التي تستخدم فوسفات أيون الليثيوم على سبيل المثال، يصعب على تلك العمليات فصل نوعين يحتوي كلاهما على الكوبالت والنيكل، ولكنْ بنِسبٍ مختلفة. ولهذا السبب وأسباب أخرى، سوف يكون من الضروري أن تحمل البطاريات رمزًا شريطيًّا من نوع ما، بحيث تَعرِف شركات إعادة التدوير من خلاله محتوياتِ البطاريات، حسبما يقول شبانجنبيرجر.

وثمة عائقٌ آخر محتمَل، يتمثل في أن كيمياء الكاثود تتطور باستمرار، فالكاثود الذي ستستخدمه الشركات المُصنِّعة بعد فترة تتراوح من 10 إلى 15 سنة من الآن – في نهاية دورة حياة السيارات الحالية – قد يكون مختلفًا اختلافًا كبيرًا عن الكاثود الحالي. وقد تكون أكثر الطرق كفاءةً لإخراج المواد منه هي جمْع الشركة المُصنِّعة بطارياتها في نهاية دورة حياة السيارات هذه. ويجب أن تُصمَّم البطاريات من الصفر بطريقة يسهل معها تفكيكها، حسبما قالت جينز.

تراجُع أسعار البطاريات

انخفض سعر خلايا أيون الليثيوم بنسبةٍ تزيد على 97% منذ عام 1991.



SOURCE: M. S. ZIEGLER & J. E. TRANCIK *ENERGY ENVIRON. SCI.* HTTPS://DOI.ORG/GRHX (2021).

ويعتقد أندرو أبوت، اختصاصي علم المواد من جامعة ليستر بالمملكة المتحدة، أن عملية إعادة التدوير سوف تكون أكثر ربحية بكثير، إذا تخلَّت عن مرحلة التمزيق، وفكَّكت الخلايا مباشرةً. وقد طوَّر هو ومعاونوه تقنية لفصل مواد الكاثود باستخدام الموجات فوق الصوتية[7]. يقول أبوت

"يُستعاد أكثر من 98% من بطاريات الرصاص الحمضية، ويُعاد تدويرها".

إن هذه الطريقة ملائمة تمامًا لخلايا البطاريات التي يتم رَصُّها بطريقة مسطحة، بدلًا من أن تكون مطوية وملفوفة (كما الحال في الخلايا "الأسطوانية" الشائعة)، ويمكن أن تجعل المواد المُعاد تدويرها أرخص ثمنًا بكثير من المعادن المستخرَجة حديثًا. ويشارك أبوت في خطة بحثية حكومية في المملكة المتحدة، يبلغ رأسمالها 14 مليون جنيه إسترليني (أي ما يعادل 19 مليون دولار أمريكي) تتعلق باستدامة البطاريات، وقد أُطلِق على تلك الخطة «ريليب» ReLiB.

زيادة حجم عمليات إعادة التدوير

بصرف النظر عن نوعية عملية إعادة التدوير التي تصبح قياسية، سوف يكون حجمها مفيدًا في هذا الصدد. فبالرغم من أن التقارير الإعلامية تميل إلى وصف الطوفان القادم من البطاريات المستهلَكة بأنه يمثل أزمة وشيكة، ينظر المحللون إلى الوضع بوصفه فرصة كبيرة، على حد قول ميلين. فما أن تبدأ ملايين البطاريات الكبيرة في الوصول إلى نهاية عمرها الافتراضي، سوف يؤدي حجم إنتاجها الكبير دوره، جاعلًا عملية إعادة التدوير أكثر كفاءةً، وجدواها التجارية أكثر جاذبية.

ويرى المحللون أن بطاريات الرصاص الحمضية – تلك التي تُستخدم في السيارات التي تعمل بالبنزين – تُعَد مثالًا يدعو إلى التفاؤل. فنظرًا إلى أن الرصاص عنصرٌ سام، تُصنَّف تلك البطاريات على أنها نفايات خطرة، يتعين التخلص منها بأمان، بيد أن صناعةً تتسم بالكفاءة تطوَّرت لإعادة تدوير تلك البطاريات، عوضًا عن ذلك، حتى بالرغم من أن الرصاص رخيص الثمن. وتعقيبًا على ذلك، يقول كامات: "يُستعاد أكثر من 98% من بطاريات الرصاص الحمضية، ويُعاد تدويرها". ويقول ميلين: "صحيحٌ أن قيمة بطارية الرصاص الحمضية أقل حتى من بطارية أيون الليثيوم، إلا أنه استنادًا إلى الكميات الكبيرة منها، تُعَدّ إعادة تصنيعها على أية حال إجراء منطقيًّا".

قد تستغرق أسواق إعادة تدوير بطاريات أيون الليثيوم بعض الوقت لتصل إلى أقصى حجم لها، ويرجع ذلك - في جزء منه - إلى أن هذه البطاريات أضحت معمرة على نحو استثنائي، فقد تمتد صلاحية بطاريات السيارات الحاليةً لفترة تصل إلى 20 عامًا، على حد قول كامات. وفي السيارات الكهربائية التي تُباع اليوم، يتجاوز عادةً عُمْر حِزْمة البطارية عمر المركبة التي جرى تثبيتها فيها، حسبما يقول ميلين.

يعني هذا أنه عند إرسال المَركبات الكهربائية القديمة إلى نفايات التصنيع، غالبًا لا يجري التخلّص من البطاريات، ولا يُعاد تدويرها. وبدلًا من ذلك، تُفكَّك البطاريات، ويُعاد استخدامها في تطبيقات أبسط، مثل تخزين الطاقة الثابت، أو تشغيل القوارب. فبعد مُضي 10 سنوات على استخدام بطارية سيارة - مثل بطارية السيارة الكهربائية "نيسان ليف"، التي تبلغ طاقتها 50 كيلووات ساعة - ستكون قد فَقَدت 20% من سعتها على أقصى تقدير.

وقد صدر تقريرٌ آخر في شهر مايو عن الوكالة الدولية للطاقة، وهي منظمة عُهد عنها توقعاتها الحذرة على مدار تاريخها. اشتمل التقرير المشار إليه على خريطة طريق[8] لخفض صافي انبعاثات الدفيئة عالميًّا إلى الصفر بحلولً منتصف القرن الواحد والعشرين. وتتضمَّن هذه الخريطة التحوُّل إلى النقل الكهربائي، بوصفه ركيزة أساسية لخطتها. والثقة في أن هذا الهدف قابل للتحقيق تعكس اتفاقًا متناميًا بين صانعي السياسات، والباحثين، والشركات المُصنِّعة على أنه أصبح من الممكن الآن التغلب تمامًا على تحديات التحوُّل إلى السيارات الكهربائية، وأنه إذا كنا نريد أن نحتفظ ببصيص أمل في الإبقاء على التغيُّر المناخي قيد السيطرة، فلا وقت أمامنا لنُضيِّعه، غير أن بعض الباحثين يشكون من أن المركبات الكهربائية مُلزَمة - على ما يبدو - بتحقيق مستوى يستحيل بلوغه فيما يتعلق بالتأثير البيئي لبطارياتها. وتعقيبًا على ذلك، يقول كامات: "سوف يكون من المؤسف ومن غير المُجْدِي التخلي عن حل جيد بالإصرار على حل مثالي. وهذا لا يعني، بطبيعة الحال، أننا لسنا بحاجةٍ إلى بذل قصارى جهودنا من أجل التعامل مع مسألة التخلص من البطاريات".

دافيديه كاستيلفيكي يعمل مراسلًا لدورية *Nature* من لندن.

1. International Energy Agency. *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions* (IEA, 2021); available at https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions
2. BloombergNEF. *Electric Vehicle Outlook 2021* (BNEF, 2021); available at https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook
3. Baars, J., Domenech, T., Bleischwitz, R., Melin, H. E. & Heidrich, O. *Nature Sustain.* **4**, 71–79 (2021).
4. Li, W., Lee, S. & Manthiram, A. *Adv. Mater.* **32**, 2002718 (2020).
5. Yang, J. H., Kim, H. & Ceder, G. *Molecules* **26**, 3173 (2021).
6. Melin, H. E. *et al. Science* **373**, 384–387 (2021).
7. Lei, C. *et al. Green Chem.* **23**, 4710–4715 (2021).
8. International Energy Agency. *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector* (IEA, 2021); available at https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050



MARK KAUZLARICH/BLOOMBERG/GETTY

عانى سكان مدينة نيويورك من درجات حرارة قاربت أعلى درجات الحرارة المسجلة في المدينة على الإطلاق في أواخر يونيو الماضي، وذلك خلال موجة حر أسفرت عن حدوث انقطاع في التيار الكهربائي لمرّات عديدة.

الآثار الفتَّاكة للحَرّ على البيئات الحضرية

يعكف العلماء حاليًّا على وضع مخطط يوضح أوجه الارتباط بين الأصل العِرْقي، والفقر، والحَرّ في المدن، ويطرحون حلولًا للحد من المخاطر التي تتأتى مع هذه العلاقة. **بقلم ألكسندرا ويتزي**

لجأ لويس رودريجيز إلى المكوث في غرفة نوم أطفاله في شهر يونيو الماضي عندما ضربت موجة من الحر اللافح القاسي الحيّ الذي يقطن فيه في مدينة لوس أنجيليس الأمريكية، وسائر المناطق الواقعة في جنوب غرب الولايات المتحدة. كانت تلك الغرفة هي الوحيدة المزودة بجهاز لتكييف الهواء في المنزل، وبالتالي كانت المكان الأكثر أمانًا به عندما ارتفعت درجات الحرارة خارج المنزل إلى أكثر من 40 درجة مئوية.

آنذاك، كان رودريجيز يقضي يومه بالكامل في العمل على جهاز الكمبيوتر الخاص به، حيث عمل عن بُعْد مديرًا متطوعًا في منظمة تُسمى "تري بيبول" TreePeople، وهي منظمة بيئية غير ربحية، تقع في بيفرلي هيلز بولاية كاليفورنيا الأمريكية، تعمل على زراعة الأشجار ورعايتها في جميع أنحاء لوس أنجيليس. كذلك أوى ولداه الصغيران إلى الغرفة نفسها مع أبيهما، لتجنب ذلك الحر القاتل. وما كان أحدهم يجرؤ على مغادرة المنزل، إلا مع حلول المساء؛ بعد أن تكون درجة حرارة المنزل قد ارتفعت بدرجة كبيرة تجعل الطقس خارجه أكثر برودة. واعتاد الولدان أن يلعبا تحت ظلال شجرة التين التي زرعها رودريجيز أمام منزله، لِمَا تتمتع به هذه الشجرة من أوراق عريضة وارفة الظلال، وثمار غضَّة.

وجدير بالذكر أنه على طول الطريق من لوس أنجيليس إلى لاجوس، يُعَد الحر الشديد مشكلة آخذة في التفاقم. فمع الارتفاع الشديد في درجات الحرارة، وشيوع موجات الحر بمعدلات متزايدة، نتيجة الاحترار العالمي، صار سكان المدن هم الأكثر عرضة لمخاطر هذا الوضع؛ فالأسفلت والخرسانة وغيرهما من الأسطح التي تمتص الحرارة ثم تبعثها تجعل كثيرًا من البيئات الحضرية أكثر حَرًّا من الضواحي أو المناطق الريفية.

وتعكف حاليًّا جهات تخطيط المدن، وعلماء الأرصاد الجوية، وخبراء المناخ وغيرهم من العلماء على تحديد الأحياء الأكثر عرضة لمخاطر الحَرّ، بُغية المساعدة في تقليل مخاطر الإصابة بضربات الشمس وغيرها من الأمراض الأخرى المرتبطة بالحر. وترتكز هذه الجهود المبذولة على تنامي الوعي بالخسائر غير المتكافئة التي تُحْدِثها موجات الحر الشديد للأشخاص الملونين وغيرهم ممن يعيشون في المجتمعات ذات الدخول المنخفضة. وقد قادت سياسات تخطيط المناطق الحضرية العنصرية، لا سيما في الولايات المتحدة، إلى جعل مجتمعات الملونين أكثر عرضة لحالات الوفاة والإصابة بالأمراض المرتبطة بالحَرّ من مجتمعات البيض المجاورة.

وعلى مدار السنوات القليلة الماضية، كشفت مجموعة متزايدة من الأبحاث عن الظلم البيئي الذي جعل بعض السكان يقاسون لهيب الحر فوق مساحات شاسعة من الأسفلت، بينما تنعم أحياء حضرية أخرى بالحدائق الخضراء، والمروج الشاسعة، والأشجار وارفة الظلال. وحول ذلك، تقول إنجيل هِسو، عالمة المناخ من جامعة نورث كارولينا في تشابل هيل: "لا شك أن هذا مروع". وتستطرد كلامها قائلة: "علينا أن نسأل أنفسنا عن الأسباب التي تقف وراء ذلك، لكي نحاول أن نكتشف سبب ثبات هذه الأنماط وانتشارها بهذه الطريقة".

ولا شك أن ثمة صورًا مماثلة من عدم المساواة تهدد سكان المناطق الحضرية في عديد من البلدان الأخرى، لكن يمكننا العثور على بعضٍ من أفضل الأمثلة الموَثَّقة بالأدلة على هذا الجور في الولايات المتحدة، حيث بدأت دراسات الباحثين لأوجه الارتباط بين السياسات التمييزية ومخاطر الحر في التزايُد. وتعمل مدن عديدة الآن على الأخذ في الاعتبار تحقيق المساواة بين الأفراد في مواجهة موجات الحر في مخططاتها الحضرية، وذلك بعدة وسائل، من بينها زراعة الأشجار، وطلاء الأسقف باللون الأبيض في الأحياء التي عادة ما تتلقى موارد أقل.، بيد أن مِثْل هذه الخطط الرامية إلى التأقلم مع التغيُّر المناخي لا يزال أمامها طريق طويل لمواجهة عقود من الإهمال المتعمَّد للفئات السكانية الأكثر عرضة لتلك المخاطر.

ظروف قاتلة

وفقًا لمنظمة الصحة العالمية، فإن عدد الوفيات الناجمة عن موجات الحر في الفترة ما بين عامي 1998، و2017 على مستوى العالم قد تجاوز 166 ألف شخص. وهو ما يجعل الحر من بين أكثر كوارث الطقس فتكًا، شأنه في ذلك شأن موجات البرد، والفيضانات، والصواعق، والأعاصير. ومع ذلك، يُستخف عادةً بالآثار المترتبة على موجات الحر؛ لأن شهادات الوفاة تُدرج فيها عادة أسباب وفاة، مثل الإصابة بقصور في القلب، دون

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

أن تلفت إلى تعرُّض المُتوفَّى لدرجات حرارة عالية.

وفي دراسة[1] أُجريت عن حالات الوفاة وحالات دخول المستشفيات الطارئة في هيوستن بولاية تكساس الأمريكية، في الفترة ما بين عامي 2004، و2013، وجد العلماء أن الأشخاص الذين تزيد أعمارهم على 65 عامًا ارتفعت فيما بينهم على الأرجح الأرقام الرسمية لحالات الوفاة الناجمة عن ارتفاع درجات حرارة الطقس. من هنا، تقول أولجا ويلهيلمي، عالمة الجغرافيا من المركز الوطني لأبحاث الغلاف الجوي في مدينة بولدر بولاية كولورادو الأمريكية، وواضعة هذه الدراسة: "الحر الشديد هو من الظواهر الطبيعية التي يُبخس تقدير خطورتها"، إذ يمكن أن يؤدي الحر الشديد إلى الإصابة بضربة شمس، أو بإجهاد مميت من جرّائه؛ وهما يحدثان عندما يتعذر على جسم الإنسان تبريد نفسه بدرجة كافية. ويمكن للإجهاد الناجم عن الحر أيضًا أن يؤدي إلى الوفاة من خلال مفاقمة حالات مرضية كامنة، مثل أمراض القلب والأوعية الدموية، أو أمراض الجهاز التنفسي. وتتمثل الفئات الأكثر عرضة لمخاطر موجات الحر في الأطفال، وكبار السن، والأشخاص من ذوي الأمراض المزمنة، أو الذين يعملون في الأماكن المفتوحة، بل إن الفئات الأصغر سنًّا من البالغين يمكن أن تكون عرضة للوفاة، إذا ارتفعت درجة الحرارة ارتفاعًا كبيرًا. وتودي فترات الطقس الحار بحياة كثير من الأشخاص، لا سيما عندما لا تنخفض درجات الحرارة بمعدلات كبيرة في أثناء الليل[2،3].

وقد حدثت بعض موجات الحر الأكثر فتكًا في مدن ذات طقس معتدل، اندلع فيها فجأة حر شديد. وعلى سبيل المثال، لقي ما لا يقل عن 14 ألف شخص حتفهم في موجة الحر التي اجتاحت فرنسا في عام 2003، كما تُوفي أكثر من 700 شخص في مدينة شيكاجو بولاية إلينوي الأمريكية في عام 1995. كذلك لم يتضح بعد العدد الكامل لضحايا إحدى موجات الحر التي حطمت الأرقام القياسية لأعلى درجات الحرارة في شمال غرب الولايات المتحدة وجنوب غرب كندا في الشهر الماضي، لكن يُعتقد أن مئات الأشخاص لقوا حتفهم من جرّائها.

وعلى الرغم من أن موجات الحر تؤثر سلبًا على سكان المناطق الريفية، فهي غالبًا ما تكون أشد وطأة في المدن. ويعود ذلك إلى ما يُعرف بتأثير الجزر الحرارية الحضرية؛ حيث تتسبب المواد التي تتكون منها الشوارع والمباني في ارتفاع درجة حرارة الهواء بدرجة تزيد عليها في المناطق المورقة. وتكون المناطق الحضرية المركزية خلال النهار أكثر سخونة بعدة درجات مئوية في المتوسط من المناطق الريفية المحيطة بها، بل قد تكون أشد حرًّا من ذلك بكثير.

وفي كثير من المدن حول العالم، تواجه الفئات السكانية الأضعف أشد هذه المخاطر. وعلى سبيل المثال، في نتيجة لقصور القلب والأوعية الدموية الناجم عن ضربات الشمس[4]. وقد وجدت دراسة أُجريت على أكثر من 1300 عامل وفدوا من نيبال، وتوفوا في الفترة ما بين عامي 2009، و2017، أنه لو كان المسؤولون قد طبقوا تدابير وبرامج فعالة للوقاية من الحر، لأمكن إنقاذ حياة ما يصل إلى مائتي عامل من هؤلاء الضحايا. كذلك وجدت دراسة استقصائية[5] في بانكوك شملت 505 أشخاص من السكان هناك وأُجريت خلال موسم الحر الذي تعرضت له البلاد في عام 2016، أن الأشخاص ذوي الدخل المنخفض تزايدت احتمالات إبلاغهم عن تعرُّضهم لإجهاد صحي ناجم عن الحر من نظرائهم ذوي الدخل المرتفع.

وتتوقع النماذج المناخية أن تتفاقم حدة هذه المشكلة. ولا يقتصر السبب على ارتفاع متوسط درجات الحرارة صيفًا كما يحدث حاليًّا، بل يرجع كذلك إلى أن موجات الحر أصبحت أكثر تكرارًا وأشد ضراوة، وأطول أمدًا. من هنا، أفاد فريق بحثي دولي في مايو الماضي أن ما يقرب من 37% من الوفيات المرتبطة بالحر في 43 دولة قد يُعزى إلى التغير المناخي الناجم عن الأنشطة البشرية[6].

ضريبة موجات الحر غير متكافئة بين سكان البقاع الساخنة

ترى هِسو أن المشكلة باتت جلية خلال عملها في سنغافورة؛ حيث أمكن أن تزيد درجة الحرارة في بعض أجزاء مراكز المناطق الحضرية بسبع درجات مئوية عنها في المناطق المجاورة. وتدير هِسو الآن فريقًا لتحليل البيانات، يعمل على دراسة الحلول المطروحة لمواجهة التغير المناخي، وقد تقصّت بعمق ممارسات العنصرية، التي من شأنها أن تساعد على حصر الفئات الأكثر تعرضًا للحر الشديد في الولايات المتحدة، والأسباب الكامنة وراء معاناتهم هذه.

وتحب هِسو أن تشير إلى أن مدينتها الأم جرينفيل بولاية ساوث كارولينا الأمريكية ليست آمنة بيئيًّا للجميع، إذ وجدت هِسو أن أجزاء المدينة التي تعاني القدر الأكبر من حالات الإجهاد الصحي الناجمة عن الحر أغلب سكانها من السود. وفي واحدة من أوسع الدراسات نطاقًا إلى يومنا هذا في تقصي مدى التباين في التعرض لموجات الحر بين الفئات السكانية في الولايات المتحدة، دمجت هِسو وزملاؤها بين قياسات الأقمار الصناعية لدرجات الحرارة في المناطق الحضرية، وبيانات التعداد السكاني التي تضمنت معلومات ديموجرافية مفصلة حول فئات السكان في 175 مدينة[7]، والمناطق التي تقطن بها تلك الفئات في هذه المدن.

وتقول هِسو إنها توقعت وجود عدم تكافؤ في درجات التعرض للحر بين الفئات السكانية المختلفة، لكنها صُدمت بسبب التفاوُت الهائل في هذه الدرجات. ففي 97% من المدن، كانت المجتمعات الملونة تتعرض في المتوسط لدرجات حرارة أعلى بمقدار درجة مئوية كاملة من المجتمعات التي تتشكل غالبيتها من البيض غير ذوي الأصول اللاتينية. وتقول عن ذلك: "نرى أدلة عامة منتشرة وواسعة النطاق على العنصرية البيئية فيما يتعلق بدرجات التعرض لتأثير الجزر الحرارية الحضرية". وأضافت قائلة: "لم أكن أعتقد أنها ظاهرة عامة في حقيقة الأمر".

> **"نرى أدلة عامة منتشرة وواسعة النطاق على العنصرية البيئية".**

ارتبط التعرض لموجات الحر أيضًا بمستوى الدخل؛ فالأشخاص الذين يعيشون تحت خط الفقر، بغض النظر عن أصولهم العرقية، أو الإثنية، كانوا يتعرضون لدرجات حرارة أعلى من نظرائهم الذين يعيشون فوق خط الفقر.

ومع ذلك، يظل الأصل العرقي العامل الذي يشكل السبب الأكبر وراء عدم التكافؤ بين السكان في التعرض للحر في المناطق الحضرية في الولايات المتحدة. ويعود تاريخ تلك المسألة إلى ما يزيد على قرن ونصف قرن من الزمن. فبعد أن ألغت الولايات المتحدة العبودية في عام 1865، صُمِّمت سياسات الإسكان في جميع أنحاء البلاد لاستبعاد الأشخاص الملونين، ولا سيما السود، بشكل ممنهج من العيش في أحياء معينة من المدن.

وكان أحد المحركات الرئيسة للتبايُن الحالي في تعرُّض الفئات السكانية للحر هو برنامج فيدرالي للموافقة على القروض، أطلقه الكونجرس في عام 1933، وهدِف إلى مساعدة الأشخاص على سداد قروضهم العقارية في أثناء فترة الكساد الكبير. وقد وضعت الشركة المشرفة على منْح القروض خرائط تفصيلية للأحياء في 239 مدينة أمريكية، حيث صنفت الشركة تلك الأحياء بدايةً من الفئة "أ" (التي تشير إلى الأماكن الأكثر أمانًا لاستثمار البنوك فيها)، وانتهاءً بالفئة "د" (التي يُنظَر إليها على أنها الأكثر خطورة للاستثمار). وتحتم تصنيف الأحياء التي ضمت نسبة عالية من مجموعات الأقليات العرقية، أو الإثنية، أو المهاجرين على أنها تندرج تحت الفئة "د". وقد ذُيِّلت هذه التصنيفات في الغالب بتعليقات عنصرية من ممثل الشركة، وحملت علامات باللون الأحمر على خرائط المدن.

وأسفرت هذه الممارسات عن قرارات متعمدة أثَّرت على جميع جوانب الحياة تقريبًا في عديد من المدن الأمريكية، مثل قبول التحاق الطلاب بالمدارس، ودخول المتنزهات، ومرافق عامة أخرى. من هنا، على مدى عدة سنوات مضت، تعاونت المنظمة البيئية غير الربحية "جراوند وورك يو إس إيه" Groundwork USA، التي تتألف من شبكة من الفِرَق المحلية المنتشرة في جميع أنحاء البلاد، مع فِرَق بحثية مختلفة، بهدف قياس قدرة المناطق في تلك الخرائط التي حملت خطوطًا تحذيرية حمراء على مواجهة المخاطر البيئية الحديثة، مثل الحر الشديد، والفيضانات (انظر الشكل: "ضريبة موجات الحر الشديد غير متكافئة"). وتعقيبًا على ذلك، تقول جاسمين باركو، وهي من المعنيين بالتنسيق المجتمعي في مؤسسة "جراوند وورك دينفر" Ground Work Denver بولاية كولورادو الأمريكية: "يمكنك أن تلحظ مدى قلة الاستثمارات المسجَّلة في المناطق المُخطَّطة باللون الأحمر. هذا مروع".

ووفقًا لورقة بحثية واسعة التأثير[8]، نُشرت في عام 2020 في مجلة "كلايميت" *Climate*، كانت درجات الحرارة في البقاع التي أشارت إليها الخطوط الحمراء على الخرائط سالفة الذكر في 108 مناطق حضرية بالولايات المتحدة في المتوسط أكثر دفئًا بمقدار 2.6 درجة مئوية، مقارنة بالمناطق غير المشار إليها بخطوط حمراء. ويرجع ذلك إلى الأسطح غير النفَّاذة للحرارة، ونقص ظلال الأشجار في هذه البقاع، لكنْ من المحتمل أيضًا أن يكون ذلك مرتبطًا بسياسات التخطيط العمراني العنصرية، مثل قرارات بناء الطرق السريعة الكبيرة والمباني الصناعية (بكل ما تتضمنه من كتل خرسانية تمتص الحرارة) في مجتمعات ملونة. لذا، يقول فيفيك شانداس، عالِم البيئات الحضرية من جامعة ولاية بورتلاند في أوريجون، وأحد المشاركين في وضع هذه الورقة البحثية: "هذه حالة واضحة من عمليات التخطيط المنهجي، التي أسهمت على مدار أجيال في تهميش بعض المجتمعات".

دوريات لقياس درجات الحرارة

ويَذكر شانداس أنه عندما حصل على رخصة قيادة للمرة الأولى كان شغوفًا لأنْ يجوب بسيارته جميع أنحاء مدينته الأم، لزيارة الجزء الأكبر من المناطق بها. وقد تَملَّكتْه الدهشة عندما رأى كيف اختلفت درجات الحرارة المعروضة على الشاشات الموجودة خارج البنوك في جميع أنحاء المدينة. ويقول إن ذلك لم يعنِ أن تلك البنوك عانت خللًا في أجهزة قياس درجة الحرارة الخاصة بها، فقد كان كل بنك يعرض درجة الحرارة في بيئته الخاصة، سواء أكان يقع في موقف سيارات شديد الحر، تنعكس من على أسطحه الحرارة، أم في شارع بارد وارف الظلال.

وفي وقت لاحق، عندما بدأ شانداس أبحاثه في مجال علوم المناخ، وظَّف أشخاصًا للسفر عبر مدن مختلفة، حاملين معهم أجهزة استشعار لدرجة الحرارة، مُثبَّتة في سياراتهم، أو دراجاتهم. واندهش الباحث عندما رأى أن القياسات الواردة من الأحياء السكنية المختلفة كانت واضحة وكاشفة بدرجة كبيرة. ويقول عن ذلك: "راودنا شعور بأننا سنجد اختلافات، لكننا لم نكن نعلم أن تلك الفروق في درجات حرارة الجو ستكون ملموسة بهذا الوضوح والانتشار".

وقد شهدت مشروعات وضع خرائط لدرجات الحرارة باستخدام التعهيد الجماعي توسعًا على مدار السنوات القليلة الماضية. وعلى سبيل المثال، من المزمع أن تطلِق الإدارة

الوطنية الأمريكية للمحيطات والغلاف الجوي حملة خلال هذا الصيف – يعمل شانداس استشاريًّا بها - بهدف رسم خرائط للجزر الحرارية الحضرية في عدة مدن تنتمي إلى 11 ولاية.

وفي أيام القيظ الشديد، من المزمع أن يجوب المتطوعون في الحملة شوارع المدن بسياراتهم ودراجاتهم، بدءًا من الصباح الباكر. ومن خلال إنشاء ملف تعريفي بدرجات الحرارة والرطوبة في جميع أنحاء المدن على امتداد اليوم، يعتزم الباحثون جمْع بيانات، لمساعدتهم على اكتشاف الأحياء الأشد حرًّا. ويمكنهم بعد ذلك دمج هذه البيانات مع قياسات الأقمار الصناعية للتنبؤ بالأحياء السكنية المحتمَل أن تكون أكثر عرضة للخطر مع تحرُّك كتل الهواء الساخن فوق المدن.

يحلم شانداس بأن يضع في نهاية المطاف خريطة لدرجات حرارة الهواء في جميع أنحاء المناطق الحضرية بالولايات المتحدة. ويرى أنه باستخدام مثل هذه التنبؤات الدقيقة لدرجات الحرارة، يمكن للمسؤولين الرسميين التخطيط بشكل أفضل للأماكن التي من الممكن أن ينشروا فيها موارد لمحاربة الظروف المناخية القاسية.

أفكار مذهلة للتبريد

يلجأ مسؤولو تخطيط المدن في جميع أنحاء العالم إلى أساليب عديدة، في محاولة للتغلب على الحر. يتمثل أحدها في إبقاء الأماكن العامة، مثل الحدائق أو المراكز المجتمعية مكيفة الهواء ومفتوحة لساعات طويلة في أثناء الموجات الحارة؛ وهو ما يوفر متنفسًا للأشخاص الذين يعانون من شدة الحر في بيوتهم. كذلك يمكن إنقاذ الأرواح من خلال التوعية بموجات الحر الشديد وشيكة الحدوث، مثل إرسال الرسائل النصية لتحذير الأشخاص بشكل مسبق من موجات الحر، أو عرض قراءات درجات الحرارة على لوحات إلكترونية في جميع أنحاء المدينة.

وقد تبَنَّى مسؤولون في مدينة أحمد آباد الهندية خطة عمل رائدة لمواجهة موجات الحر هناك، بعد أن ضربت المدينة موجةٌ حارة في عام 2010 أسفرت عن مقتل أكثر من 1300 شخص. وتتضمن الاستراتيجية التي وضعوها نشر التحذيرات العامة، وغير ذلك من مصادر البيانات في ذلك الصدد عندما تشير تنبؤات الطقس إلى أن درجة الحرارة من المتوقع أن تتجاوز 41 درجة مئوية. وفي السنوات التي أعقبت تنفيذ خطة العمل تلك، نجحت هذه الاستراتيجية في إنقاذ حياة 1190 شخصًا سنويًّا في المتوسط[9].

وتوجِّه بعض المدن جهود تخفيف آثار موجات الحر، لتنصَبّ على المجتمعات الأكثر عرضة لمخاطر تلك الموجات. وحول ذلك، يقول كيرت شيكمان، المدير التنفيذي للتحالف العالمي لتبريد المدن في العاصمة الأمريكية واشنطن: "ثمة اهتمام متزايد بالتأكد من أن فئات السكان الأكثر تعرضًا للتهميش والإقصاء ولمخاطر موجات الحر هم محور الكثير من هذه الجهود". وعلى سبيل المثال، استخدمت دراسة[10] أُجريت في ديربان بجنوب أفريقيا في أواخر العام الماضي التنبؤات الخاصة بالتغير المناخي في المستقبل لحساب أي المناطق سوف تكون الأكثر عرضة لوقوع حالات الإجهاد الناجم عن الحر مستقبلًا فيها. كما تضمنت الدراسة أيضًا بيانات عن العوامل الاجتماعية والاقتصادية، بهدف تحديد الأحياء المعرَّضة لمخاطر الحر، التي يجب أن تستهدفها مشروعات التكيف مع الاحترار.

وفي فرنسا، تدير مدينة باريس برنامج "واحات"، الذي يهدف إلى تحويل ساحات المدارس العامة إلى أماكن باردة، لا سيما في ضواحي المدينة التي تتميز بأنها أكثر تنوعًا من حيث فئاتها العرقية والإثنية. وفي الولايات المتحدة، تقدِّم مدن عديدة مساعدات مالية للسكان، للمساعدة في تحمُّل فواتير الكهرباء صيفًا، عندما تكون تكاليف تشغيل أجهزة تكييف الهواء مرتفعة للغاية إلى حد لا يستطيع الأفراد تحَمُّله.

ويمكن لتأثير المبادرات الصغيرة في كثير من الأحيان أن يفوق نطاقه المحدود. وعلى سبيل المثال، بالنظر إلى أن العزلة الاجتماعية تعزز خطر وفاة الأشخاص في أثناء موجات الحر، تشجع مدينة نيويورك على بناء شبكة أصدقاء، يتواصل من خلالها سكان المدينة مع أصدقائهم وأفراد عائلاتهم في الأيام الحارة. وفي هذا الصيف في مدينة فينيكس، وهي المدينة الأشد حرًّا من بين كبرى المدن في الولايات المتحدة، يُزمع أن يجرب باحثون من جامعة ولاية أريزونا جهاز استشعار لقياس درجات الحرارة داخل المنازل، قادر على أن يرسل رسالة نصية إلى صديق أو إلى فرد من العائلة، إذا ارتفعت درجة الحرارة داخل المنزل ارتفاعًا كبيرًا.

وقد تُدخل تغييرات بسيطة أخرى على المدن، مثل إنشاء مَعْبَر للمشاة، بحيث يتمكن الأشخاص من الوصول بسهولة إلى الجانب المُظلَّل من الشارع. وفي ذلك الصدد، يقول ديفيد هوندولا، عالِم المناخ من جامعة ولاية أريزونا، إن مثل هذه الإجراءات المباشرة نسبيًّا يمكن أن تسهم في تخفيف الإجهاد الناجم عن الحر الذي يتعرض له كثير من الأشخاص، ويضيف قائلًا: "ما شجعني حقًّا هو الآفاق التي قد نطرقها في غضون فترة السنوات الخمس إلى العشر القادمة".

وفي مدينة لوس أنجيليس، قدَّر الباحثون أن اثنين من التدخلات الإصلاحية الأساسية – ألا وهما زراعة الأشجار، وطلاء الأسقف باللون الأبيض – أمكن أن يحولا دون وقوع ما لا يقل عن ربع عدد الوفيات التي تُعزى إلى موجات الحر التي وقعت مؤخرًا[11]. وتقول إيديث دي جوزمان، مديرة المشروع التعاوني لتبريد المناطق الحضرية في لوس أنجيليس، إنه على غرار الحال في مدن أخرى، فقد حدثت تلك الوفيات بصورة أكبر في المجتمعات الملونة. بيد أن الجواب لا يتمثل في غرس الأشجار في المناطق التي تعاني العوز بالمدينة فحسب، فكما تقول دي جوزمان، ثمة احتياج إلى اختيار هذه الأشجار بعناية وحرص، ليس فقط بناءً على قدرتها على تحَمُّل الحرارة، وإنما أيضًا بناءً على مقدار الظل الذي يوفره نوعها.

لم تُحَقِّق لوس أنجيليس بعد هدفها الطَّموح الرامي إلى زراعة مليون شجرة، الذي أعلنه عمدة المدينة في عام 2006، بيد أن رودريجيز يسهم في ذلك حاليًّا من منزله الواقع في وادي سان فرناندو، المعروف بحرارته الشديدة. فأغلب الحي الذي يقطن به رودريجيز تشكله عدة منازل عائلية تعود إلى حقبة الخمسينيات من القرن الماضي، بُنيت لإيواء قدامى المحاربين بعد الحرب العالمية الثانية، وقد صار الحي حاليًّا أكثر تنوعًا من حيث الفئات العرقية والإثنية التي تسكنه.

ومن المؤسف أن أشجارًا كثيرة من الصمغ الحلو، التي كانت مزروعة في الأصل على امتداد الشارع الذي يقيم فيه رودريجيز، قد تساقطت، أو ماتت. ولم يزرع رودريجيز شجرة التين المفضلة لديه فحسب، بل زرع أيضًا أشجار الجوافة، والرمان، والبرقوق. وتصطف الأشجار الأربع بجوار بعضها بعضًا أمام منزله، ويومًا ما سوف تتسع مساحة الظل الذي تمنحه تلك الأشجار.

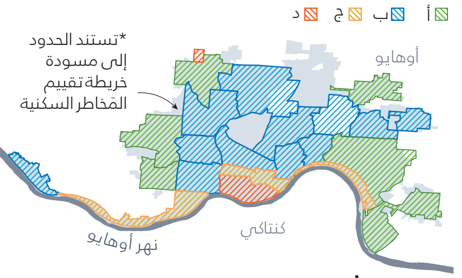
وتُمثِّل هذه الأشجار جزءًا من خطة رودريجيز لتوفير جو منعش لأفراد عائلته في مستقبل أشد حرارة.

عدم المساواة وشدة الحر

في كثير من المدن الأمريكية، تميل درجات الحرارة إلى الارتفاع بشكل كبير في المناطق التي تحملت وطأة السياسات والممارسات التمييزية في مجال الإسكان. وقد وضع "تعاوُن الأحياء الآمنة مناخيًّا" مخططًا يوضح تأثيرات تلك السياسات في سينسيناتي بولاية أوهايو وثماني مدن أخرى.

أحياء الخطوط الحمراء

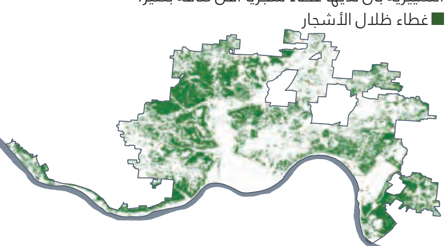
ابتداءً من ثلاثينيات القرن الماضي، صَنَّفت الحكومة الأمريكية الأحياء في كثير من المدن بناء على مستوى المخاطر المتوقعة للقروض السكنية. واستندت درجات ذلك التصنيف إلى عدة عوامل، بما في ذلك الأصول العرقية للسكان القاطنين في تلك الأحياء. ووضعت علامة باللون الأحمر للإشارة إلى التصنيف الأكثر خطورة، أو الأدنى، وهو ما أدى إلى ظهور مصطلح الخطوط الحمراء.



الغطاء الشجري

تتميز مناطق المدينة الأكثر تضررًا من ممارسات الإسكان التمييزية بأنّ لديها غطاءً شجريًّا أقل كثافة بكثير.

غطاء ظلال الأشجار



البؤر الحارة

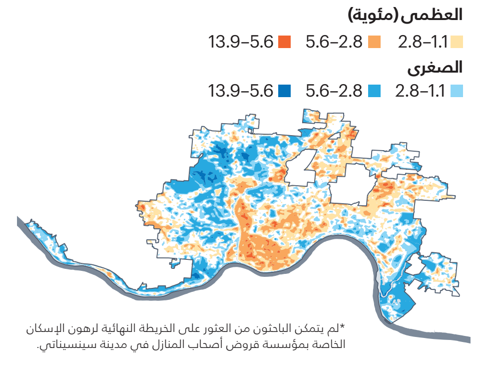
يُبين تحليل البيانات الواردة من القمر الصناعي "لاندسات 8" Landsat 8 لفصول الصيف في الفترة ما بين عامي 2013، و2019 أن درجات حرارة بعض المناطق كانت أعلى بعدة درجات من متوسط المنطقة المحددة على الخريطة.

العظمى (مئوية)

2.8–1.1 | 5.6–2.8 | 13.9–5.6

الصغرى

2.8–1.1 | 5.6–2.8 | 13.9–5.6



*لم يتمكن الباحثون من العثور على الخريطة النهائية لرهون الإسكان الخاصة بمؤسسة قروض أصحاب المنازل في مدينة سينسيناتي.

SOURCE: CLIMATE SAFE NEIGHBOURHOODS

تكتب **ألكسندرا ويتزي** مقالات في دورية *Nature* من بولدر بولاية كولورادو الأمريكية.

1. O'Lenick, C. R. *et al. Environ. Health Perspect.* **128**, 127007 (2020).
2. Murage, P., Hajat, S. & Kovats, R. S. *Environ. Epidemiol.* **1**, e005 (2017).
3. Royé, D. *et al. Epidemiology* **32**, 487–498 (2021).
4. Pradhan, B. *et al. Cardiology* **143**, 37–48 (2019).
5. Arifwidodo, S. D. & Chandrasiri, O. *Environ. Res.* **185**, 109398 (2020).
6. Vicedo-Cabrera, A. M. *et al. Nature Clim. Change* **11**, 492–500 (2021).
7. Hsu, A., Sheriff, G., Chakraborty, T. & Manya, D. *Nature Commun.* **12**, 2721 (2021).
8. Hoffman, J. W., Shandas, V. & Pendleton, N. *Climate* **8**, 12 (2020).
9. Hess, J. J. *et al. J. Environ. Public Health* **2018**, 7973519 (2018).
10. Jagarnath, M., Thambiran, T. & Gebreslasie, M. *Clim. Change* **163**, 807–829 (2020).
11. de Guzman, E. *et al. Rx for Hot Cities: Climate Resilience through Urban Greening and Cooling in Los Angeles* (Los Angeles Urban Cooling Collaborative, 2020).

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

تعليقات



CENG SHOU YI/NURPHOTO VIA GETTY

كان للثقافة المدنية الخلّاقة التي تتبناها تايوان في التعامل مع البيانات الفضل في رسم ملامح جهود التصدي السريع والفعال للجائحة من جانب الدولة.

إدارة البيانات الرقمية يجب ألا تظل حكرًا على شركات التكنولوجيا

جاثان سادوسكي، وسالومي فيليون، وميريديث ويتيكر

تكشف الهواتف الذكية، وأجهزة الاستشعار، ونُظُم تتبُّع عادات المستهلكين الكثير عن المجتمع. ومع ذلك، فإن قلة قليلة فقط من الأشخاص تتمتع بحق البت في أساليب استحداث هذه البيانات، وأوجُه استخدامها.

قبل بضعة عقود، كان الباحث إذا أراد أن يدرُس تأثير سوء حالة الطقس على أنماط التنقل (أي على الوسائل التي يستخدمها الناس في التنقل، والطُّرُق التي يسلكونها، والأوقات التي يسافرون فيها)، يضطر غالبًا لاستطلاع آراء مئات الأشخاص، فضلًا عن إحصاء عدد السيارات والحافلات والدراجات التي تمر عند تقاطعات الطُّرُق الرئيسة.

أما اليوم، فيمكن الوصول إلى بيانات تسرد تفاصيل تحركات ملايين الأشخاص بعد وقوعها، بل وآنيًّا أحيانًا أيضًا. وهذه البيانات، المُستمَدة من نُظُم التتبُّع الموجودة في الهواتف أو السيارات، يمكن تضمينها في الدراسات المعنيَّة بالتطعيم ضد مرض «كوفيد-19»، بهدف تقصِّي آثار تنقلات الموظفين المسافرين بصفة دورية إلى العمل ومنه. كما يمكن أن تشمل هذه الدراسات بيانات حالة الطقس، للوقوف على ما إذا كان مدى إقبال الموظفين اليوم على العمل من المنزل في حال هَطْل أمطار غزيرة أكبر مما كان عليه قبل بضع سنوات، أم لا.

ونظريًّا، يمكن القيام بذلك وأكثر، غير أن الصورة الوردية التي ترسمها مثل هذه التوقعات كثيرًا ما تكون بعيدة كل البعد عن الواقع.

ومعظم البيانات المتاحة لمتخصصي العلوم الاجتماعية الحاسوبية - أو تلك التي يسعون إلى الحصول عليها -بيانات تُستحدَث بغرض الإجابة عن أسئلة لا صلة لها بالأسئلة البحثية التي يطرحها هؤلاء المتخصصون، وإنما تُعبِّر بشكل أساسي عن الغرض الأصلي من جمعِها، سواء أكان ذلك الغرض هو استهداف فئة ما بالإعلانات، أم تقسيط دفعات التأمين بما يتلاءم مع المُعطيات الشخصية لكل عميل. ومع ذلك، فإن تلك البيانات يمكن - مع توخي الحذر - إعادة استخدامها بغرض الاستفادة منها في الإجابة عن أسئلة أخرى؛ إذ يمكن، على سبيل المثال، للبيانات المُستمَدة من أجهزة تتبُّع اللياقة البدنية القابلة للارتداء أن تخدم الدراسات المتعلقة بالسِّمنة، غير أنه عادة ما تظل هناك

فجوات كبيرة في تلك البيانات. ولذا، غالبًا ما يلجأ العلماء إلى ابتكار حلول بديلة تُمكِّنهم من اِستقاء أكبر قدر ممكن من المعلومات المفيدة من أي مورد يتسنى لهم[1].

ويمكن الاستشهاد في هذا السياق بتجربة مر بها باحثون حاولوا الإجابة عن أسئلة طرحتها الحكومة المحلية في منطقة سيدني الكبرى بأستراليا حول أنماط التنقل؛ إذ كان عليهم أن يلجأوا إلى استخدام بيانات مكانية وزمانية منخفضة الجودة، جرى استخلاصها من الإشارات التي ترسلها الهواتف المحمولة إلى الأبراج الخلوية[2]. ولم يقف الأمر عند ذلك الحد، بل اضطر هؤلاء الباحثون أيضًا لشراء تلك البيانات بتكلفة عالية من مزوِّد خدمات الاتصالات عن بُعد.

ومن هنا، فإننا نرى أن نموذج إدارة البيانات في شكله الحالي، الذي يسمح للشركات باحتكار البصمات الرقمية لحياتنا، يهدد قدرة المجتمع على إنتاج البحث العلمي الدقيق والمستقل اللازم للتعامل مع قضاياه المُلِحّة. فهذا النموذج يحجِّم ما يمكن الوصول إليه من معلومات، وما يمكن طرحه من أسئلة بحثية، وهذا يَحُول بدوره دون إحراز أي تقدم نحو فهْم الظواهر المعقدة، بدءًا من تأثير نسبة توفُّر التطعيمات على أنماط السلوك، وصولًا إلى أثر الخوارزميات فيما يخص انتشار المعلومات المُضلِّلة.

ومن هذا المنطلق، تأتي دعوتنا إلى توليد البيانات السلوكية، وإدارتها، وفرزها عن طريق صناديق بيانات عامة.

حظر سُبُل الوصول إلى البيانات

إن الإطار الاقتصادي والسياسي الذي تجري بموجبه إدارة البيانات يضع متخصصي العلوم الاجتماعية في موقف حرج؛ فالوصول إلى البيانات مرهون بشروط، إذ إن الشركات تحرص كل الحرص على مراقبة ما يطرحه - أو لا يطرحه - الباحثون من أسئلة، وما يمكنهم الوصول إليه من بيانات، وأي مسلك يتبعونه في تحليل تلك البيانات. وفي المقابل، نادرًا ما يستطيع العلماء تحديد أي معلومات تم حجبها عنهم عندما منحتهم الشركات المُتحكِّمة في البيانات حق الوصول إليها، أو بأي طريقة حصلت تلك الشركات على البيانات في المقام الأول.

وفي أحسن الأحوال، قد يكون لهذا الوضع تأثير مخيف على المساعي البحثية، فعلى سبيل المثال، بعض الدراسات قد لا ترى النور إذا كانت هناك احتمالية لأنْ تهدِّد سمعة مُزوِّد البيانات، أو أرباح دخل شركته. أما في أسوأ الأحوال، فقد يشعر الباحثون بأن ضغوطًا تُمارَس عليهم من أجل دفْعهم لمواءمة دراساتهم ونتائجها البحثية مع قيم وأولويات شركات التكنولوجيا. وإذا جاءت النتائج على غير هوى تلك الشركات، فقد يُحظَر هؤلاء الباحثون من الوصول إلى البيانات، وهو ما لا يهدد بانقطاع عملهم البحثي فحسب، بل ربما أيضًا يضع مكانتهم على المحك داخل مؤسساتهم وبين أقرانهم.

في مارس الماضي، على سبيل المثال، كشف تقرير فريق "الذكاء الاصطناعي المختص" لدى شركة «فيسبوك» أن الشركة تفرض قيودًا على الباحثين في اختيار أنواع المشكلات التي يمكنهم تقصّيها، والحلول التي يمكنهم طرحها لتلك المشكلات. وبالتالي، بدلًا من أن يركز عمل الفريق على اجتثاث جذور المعلومات المُضلِّلة، والتصدي لخطاب الكراهية الذي يسهم في شحذ معدلات التفاعل على وسائل التواصل الاجتماعي، اقتصر عملهم على دراسة التغييرات التقنية التي يمكن إدخالها للتصدي للتحيز المُتأصِّل في النُّظُم المعلوماتية لموقع «فيسبوك» (انظر: go.nature.com/2t5kudw).

وعلاوة على ذلك، فإن الاعتماد على سخاء الشركات الخاصة في توفير البيانات يتعارض مع مبادئ الدقة والمسؤولية العلمية؛ إذ يمكن للقيود التعاقدية أن تمنع الباحثين من الوصول إلى النتائج نفسها التي أسفرت عنها دراسات أجراها باحثون قبلهم، والتحقق من صحة هذه النتائج. على سبيل المثال، في عام 2019، أفاد باحثون في مجال الصحة بوجود "تحيز عنصري ملحوظ" في البيانات التي استُخدِمت في تدريب خوارزمية تجارية مُسجَّلة الملكية، وهو ما ترتب عليه إنفاق مبلغ أقل بمقدار 1800 دولار أمريكي سنويًّا في علاج المرضى السود، مقارنة به في حال المرضى البيض ممن تمتعوا بالمستوى نفسه من الصحة[3]. وهذا التحيز، الذي نفت الشركة وجوده، لم يتم الكشف عنه إلا عندما أجرى الباحثون عملية مُراجَعة مستقلة لسجلات مستشفى جامعي كبير.

يهدد الوضع الراهن بوقوع مشكلات خطيرة؛ فثمة ميل متزايد نحو اعتبار الممارسات غير الأخلاقية التي تتبناها شركات التكنولوجيا الكبيرة أنها في الكفة نفسها مع مقاربات جمْع

> **"إن إعلاء الشركات من قيمة معلومات بعينها على حساب أخرى قد يكون سببًا في تحريف البيانات المتاحة للتحليل".**

البيانات الديموغرافية، ودراسات السلوك، والتنبؤ بعوامل الخطر. وهذا يسهم في تشويه هذه المقاربات، وفي التقليل من مصداقيتها على المدى الطويل. كما أن الهيمنة التي يفرضها عدد محدود من المنصّات الإلكترونية المغلقة التي تُوفِّر البيانات تلعب دورًا في رسم ملامح مستقبل العلوم الاجتماعية الحاسوبية؛ إذ غالبًا ما تُمنَح شهادات الدكتوراة والوظائف الأكاديمية الثابتة على أساس ما يؤمِّنُه الباحث لنفسه من تمويل، وبيانات، وأبحاث منشورة، ومكانة عبر التعاوُن مع الجهات الفاعلة في مجال صناعة التكنولوجيا.

خط سير البيانات

إن التحدي الذي نواجهه الآن لا يتمثل في محدودية الوصول إلى البيانات مُسجَّلة الملكية فحسب، بل تدخل فيه أيضًا إشكاليات جوهرية حول خط سير تلك البيانات، أي كيف تتولَّد، وإلى أي جهة تؤول؟

إن إعلاء الشركات من قيمة معلومات بعينها على حساب أخرى قد يكون سببًا في تحريف البيانات المتاحة للتحليل. فعمالقة التكنولوجيا يُعلِّقون أهمية كبيرة على المعلومات السلوكية للأشخاص، ويعدّون هذا النوع من المعلومات فئة جديدة من فئات الأصول الاستثمارية[4]. ويؤثر هذا التفضيل بالطبع على خطط البحث العلمي، والسبب في ذلك يعود في جزء منه إلى وفرة البيانات. فمتخصصو العلوم الاجتماعية الحاسوبية كثيرًا ما يستخدمون بيانات التفاعُلات على مواقع التواصل الاجتماعي، على سبيل المثال، كأداة غير مثالية تعبِّر عن العديد من العوامل الأخرى، مثل التنقلات، أو الصحة، حتى إنْ لم تكن هذه البيانات الوسيلة المُثلى للإجابة عن أسئلتهم[5].

وفضلًا عن ذلك، فإن الرؤى التي يستشفُّها الباحثون من بيانات ما، قد يشوبها خلل، إنْ كانت تلك البيانات قد تشكلت في ضوء افتراضات غير صحيحة وتحيزات ضارة، وهو ما يحدث عن غير قصد في كثير من الأحيان. وعلى سبيل المثال، اكتشف باحثون في مجال الذكاء الاصطناعي أن مجموعات البيانات الكبيرة، كتلك المتوفرة عبر قاعدة بيانات "إميدج نت" ImageNet التي استُخدِمَت في تدريب نُظُم تعلُّم الآلة وتقييمها لأكثر من عقد من الزمان، تنطوي على تعليمات مرمَّزة قائمة على أفكار نمطية متحيزة ضد الجنس والعِرق، وهي أفكار تُترجم فيما بعد إلى البرمجيات التي تنطلق من تلك البيانات[6,7].

حوكمة البيانات بصورة ديمقراطية

ليس هناك الكثير مما يمكن القيام به للتصدي لهذه الإشكاليات الجوهرية، دون تغيير النظام الذي يسمح باحتكار الشركات الخاصة للبيانات تغييرًا جذريًّا. فنحن بحاجة إلى تطوير نُظُم مهيّأة بشكل أكبر لتحليل الظواهر الاجتماعية، عبر طُرُق أخلاقية، ومنصفة، تكون دقيقة من الناحية العلمية. وكما تدخل الأفكار الحاصلة على براءة اختراع حيز الملكية العامة بمجرد انتهاء فترة صلاحية حقوق ملكيتها الفكرية، فإن البيانات السلوكية التي تجمعها الشركات يجب أن تخضع هي الأخرى لرقابة جهة ديمقراطية بعد انقضاء بعض الوقت.

وهذا النموذج الذي يضمن إدارة البيانات على نحو أفضل سيتضمن - على الأرجح - الإشراف على خط سير البيانات إشرافًا جماعيًّا من خلال صناديق بيانات عامة تخضع لإشراف علمي، ولمساءلة ديمقراطية. وقد مهّدت دراساتٌ قائمة بالفعل الطريقَ للعمل بمثل هذه الأدوات. على سبيل المثال، يوضح تقرير صادر عن شركة «إيليمينت إيه آي» Element AI الكندية، ومنظمة «نيستا» Nesta البريطانية، أن صناديق البيانات العامة هي أداة سياسية واعدة، نظرًا إلى دورها كمورد شامل لحقوق أصحاب البيانات، وتعيينها لشروط لاستخدام هذه البيانات (انظر: go.nature. com/3decirk؛ كانت سالومي فيليون من المشاركين في ورشة العمل التي يستند إليها التقرير).

وقد أطلقت مدينة برشلونة في إسبانيا تجربة واعِدة في عام 2017، عندما أسسَت "مشاع بيانات المدينة" الذي أعطى السكان حق التحكم في طُرُق توليد البيانات المتعلقة بهم وبمجتمعاتهم، فضلًا عن منْحهم سلطة المشاركة في القرارات الخاصة بحوكمة تلك البيانات. وفي الوقت الراهن، تضم بوابة الوصول المفتوح إلى البيانات الخاصة بالمشاع 503 مجموعات بيانات تتمحور حول البلدية، وتشمل بيانات تُوفِّر معلومات آنية عن استخدام سكان المدينة لنظام مشاركة الدراجات.

وهذا النوع من الرقابة الديمقراطية يساعد على حماية الأشخاص الذين يُزعم أن هذه البيانات تتمحور حولهم؛ إذ تمنح الحوكمة العامة هؤلاء الأشخاص المزيد من الحقوق، وتُرسي قواعد إضافية لأجلهم، كتلك الحقوق والقواعد التي تضمن مناهضة التمييز، واتباع الإجراءات القانونية الواجبة، وفرْض قدر أكبر من المساءلة. وفي معظم الحالات، يكون نطاق الحماية الذي تُوفِّره مثل هذه الإجراءات أوسع بكثير من ذلك الذي تُوفِّره تعهدات الجهات الخاصة، مع العلم بأن درجة هذه الحماية تتفاوت من بلد إلى آخر، ومن منطقة إلى أخرى.

إن الإشراف الجماعي على البيانات بإمكانه أن يُسلِّط الضوء على الجانب المفيد اجتماعيًّا من هذه المعلومات؛ وبذلك لا يكون التركيز مُنصَبًّا على ما نعرفه من معلومات عن شخص بعينه، بل على ما تكشف تلك المعلومات عن الأشخاص الذين توجد أوجه شبه وارتباط بينهم[8]. وبدلًا من التركيز على حقوق الأفراد فحسب، فإن صناديق البيانات العامة يمكنها، بل وينبغي لها، أن تُعبِّر أيضًا عن المصالح والمنافع الخاصة بالفئات التي تتأثر بعد ذلك باستخدام ما ينتج من بيانات. على سبيل المثال، عندما استخرجت شركة «كلير فيو للذكاء الاصطناعي» ClearView AI في نيويورك صورًا من مواقع تخزين سحابي، واستخدمتها بغرض تطوير برمجيات قوية، لاستخدامها في تطبيقات التعرف على الوجوه، لم يكن الأشخاص الذين يظهرون في تلك الصور على علم بحدوث ذلك، ناهيك عن أنّ هذه الصور استخدمَتْها شركات أخرى وأقسام شرطة اشترت حزمة البيانات تلك.

ومع ذلك، فبطبيعة الحال، تتأتى مع امتلاك المؤسسات

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

العامة للبيانات تحديات ذات طبيعة خاصة؛ إذ إن الحكومات أحيانًا ما تستغل تلك البيانات في إلحاق أضرار جسيمة بفئات معينة من السكان، عن طريق استهداف المُهَمَّشين مثلًا، كما يمكنها الإفلات من المساءلة من خلال فرْض تدابير قمعية. ولذا، وجب تصميم صناديق البيانات العامة على نحو يسمح بالحوكمة الديمقراطية للبيانات منذ البداية، بحيث تكون تلك الصناديق مُعبِّرة عن المجتمعات التي تتمحور حولها البيانات، ومستجيبة لاحتياجاتها.

ويجب أيضًا أن تُودَع البيانات في صوامع مُحكَمة، تَحُول دون الوصول إلى خط سير البيانات العامة، أو التلاعب به، عن طريق المنظمات الحكومية الأخرى، مثل الشرطة، أو الجيش. على سبيل المثال، استخدمت سنغافورة بيانات النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) المُستمَدة من الهواتف المحمولة في اقتفاء أثر مخالطي مصابي جائحة «كوفيد-19»، بيد أن ثقة المواطنين في هذا النموذج سرعان ما تراجعت بعدما تبين أن الشرطة استغلت البيانات نفسها في التحقيقات الخاصة بجرائم القتل.

ثلاث خطوات

فيما يلي، نعرض ثلاث خطوات نوصي بأنْ يتبعها صانعو السياسات والقائمون على المؤسسات العلمية، من أجل حماية البيانات السلوكية، بوصفها منفعة عامة.

تتمثل الخطوة الأولى في **تأسيس البِنْية التحتية العامة.** ويتطلب هذا تمويل نُظُم قياس البيانات، وحوسبتها، وتخزينها، بما يكفل إنشاء مجموعات بيانات كبيرة تلائم متطلبات البحث العلمي كمًّا ونوعًا. ويجب أن تُرصد هذه الموارد لمستحقيها من المجتمعات والمنظمات المنخرطة في قياس البيانات، وحوسبتها، وتخزينها بالفعل، ومن بينها مجتمعات السكان الأصليين التي تعمل على إدارة معارفها، وتصنيفها، والتحكم فيها بموجب مبادئ "سيادة البيانات". كذلك، يجب تعزيز البِنْية التحتية بآليات مُحْكَمة تحفز على المشاركة، بحيث يتمكن أولئك الذين "تتمحور حولهم" البيانات من وضع خطة لجمع البيانات، والتصدي لاستخدام البيانات بصورة غير دقيقة أو ضارة، ومن ثمَّ إصلاح الوضع.

أما الخطوة الثانية، فتتمثل في **فرض السيطرة.** فهناك حاجة إلى وضع سياسات تقضي بنقل البيانات التي تنشئها وتتحكم فيها المؤسسات الخاصة إلى المؤسسات العامة. ويجب أن تغطي تلك السياسات أيضًا التفاصيل المتعلقة بالطرق المستخدَمة في قياس البيانات، وعمليات جمعها، وبيئة تخزينها.

وهناك سابقة قانونية بالفعل لمنح الشركات الخاصة حقوقًا مُقيَّدة تسمح باستخدام أصول غير ملموسة، تدخل من جديد حيز الملكية العامة في نهاية المطاف. وعلى سبيل المثال، يُنظِّم القانون الأمريكي المعروف باسم «هاتش-واكسمان» Hatch-Waxman شؤون الملكية الفكرية الخاصة بإنتاج أدوية المشاع[9]. وبالمِثل، نقترح وضع سياسة تمنح الشركات احتكارًا محدودًا للبيانات التي تجمعها وتمتلكها. وبعد فترة زمنية محددة، تبلغ ثلاث سنوات، على سبيل المثال، تصبح هذه البيانات موردًا عامًّا، أو يجري التخلص منها.

ويمكن أن تُطبَّق هذه السياسة أيضًا على أي نماذج جرى استخدام البيانات في تدريبها، أو توجيهها، نظرًا إلى أن تلك النماذج قد تفرض على الناس مخاطر، هم في غِنى عنها، في حال الاحتفاظ بها. وهناك سابقة لهذا أيضًا؛ إذ أمرت لجنة التجارة الفيدرالية الأمريكية في مايو الماضي بتدمير خوارزميات التعرُّف على الوجه، التي استُخدِمت في تدريبها صور تم الحصول عليها بطُرُق ملتوية. ويمكن ربط أحكام السياسة المقترحة بما هو قائم من لوائح خصوصية البيانات، وذلك من خلال منح الشركات شروطًا تسهيلية وحوافز في حال إقدامها على تسليم ما لديها من مجموعات بيانات وبيانات وصفية إلى الجامعات، أو الأرشيفات، أو المؤسسات العامة الأخرى، كي تدير هذه البيانات.

أما الخطوة الثالثة، فتتمثل في **توسيع نطاق الحوكمة.** وهذا يتطلب إنشاء مؤسسات مُخصصَة لهذا الغرض، وتتمتع بالقدرات التي تؤهلها للإشراف على البيانات بما يخدم الصالح العام. وليست هناك حاجة إلى البدء من الصفر؛ ففي الولايات المتحدة، على سبيل المثال، يمكن لمكتبة الكونجرس، والمؤسسة الوطنية للعلوم، ومعاهد الصحة الوطنية أن تعمل كلها كنماذج للمؤسسات العامة المذكورة أعلاه، ويمكن أن يكون لدى كل منها ممثلون في لجان الإشراف على صناديق البيانات العامة.

وسيشمل فريق العمل الخاص بهذه المؤسسات مديرين لقواعد البيانات، مُدرَّبين على تبَنِّي المعايير الأخلاقية التي ينُص عليها علم المكتبات، وهي معايير تقوم على الموازنة بين إدارة المعلومات لخدمة الصالح العام، والمخاطر التي قد تنشأ عن مشاركة المعلومات. ويمكن للخبراء المتخصصين في القياس وطرق البحث الكمية والنوعية أن يطرحوا سُبُلًا جديدة لتوليد البيانات، وذلك عن طريق العمل عن كثب مع الباحثين والمجتمعات السكانية، للوقوف على ما يجب طرحه من الأسئلة البحثية المجتمعية.

وفي السياق نفسه، سيقيِّم متخصصو العلوم الاجتماعية الحاسوبية مدى سرية مصادر البيانات، سائرين في ذلك على خطى مسؤولي الإحصاء المُحلَّفين العاملين لدى مكتب تعداد الولايات المتحدة. وبناء على نتائج التقييم، سيجري نشر البيانات الواردة من المصادر ذات السرية المنخفضة، وذلك في صورة معلومات مُجمَّعة مجهولة المصدر. أما البيانات الواردة من مصادر شديدة السرية (وهذه تشمل المعلومات التي تخص أفرادًا بأعينهم، ويمكن التعرُّف على مصدرها بسهولة)، فستخضع لحماية مُشدَّدة. ويمكن لصناديق البيانات العامة أيضًا أن تدعو فئات المجتمع ومؤسسات الضغط إلى المشاركة في صياغة بروتوكولات تُعنى بالموافقة على مشاركة البيانات، وبحالات النزاع على البيانات، ووضع خطط تصميم البيانات، وقوائم الأهداف البحثية، وتحديد متطلبات الوصول إلى البيانات واستخدامها.



MATTHIAS BALK/DPA/ALAMY

أسهمت فرانشيسكا بريا، إحدى أكبر دعاة سيادة البيانات، في تأسيس مبادرة "المدينة الذكية" Smart City في برشلونة، بهدف منْح السكان حق التحكم في بياناتهم.

فلنُطالِب بالتغيير!

لسنا وحدنا في هذه المعركة، وما علينا إلا تأمُّل العدد المهول من دعاوى مكافحة الاحتكار المرفوعة ضد منصّات مثل «جوجل»، و«فيسبوك»، و«أمازون»، و«علي بابا» في الولايات المتحدة، والاتحاد الأوروبي، وأستراليا، والصين. كما أن جائحة «كوفيد-19» خلقت هي الأخرى زخمًا جديدًا حول القضية. ففي شهر مارس من هذا العام، دعت أكاديميات العلوم التابعة لمجموعة السبع (G7) إلى صياغة آلية تُلزِم المؤسسات العامة والخاصة بمشاركة بعض البيانات ذات الأهمية في أثناء حالات الطوارئ الصحية (انظر: go.nature.com/2sjqj2v).

ولكي يتحقق ذلك، يجب على العلماء الذين يعتمد عملهم على مجموعات كبيرة من البيانات مُسجَّلة الملكية أن يصرِّحوا بآرائهم حول مخاطر استئثار الشركات بالبيانات، وأن يشاركوا تجاربهم الواقعية في التعامل مع الخيارات الأخلاقية الصعبة التي يفرضها هذا الوضع، وذلك عبر المنابر التي تُتِيحها وسائل التواصل الاجتماعي، ومؤتمرات مثل مؤتمر أنظمة معالجة المعلومات العصبية (NeurIPS). كما يجب عليهم أيضًا الضغط على الجامعات، للمطالبة بتغيير نُظُم ملكية البيانات الحالية، والتحالف مع المجتمعات المحلية التي تقود بالفعل حملات تطالب بالتعويض عن الضرر الناجم عن مراقبة البيانات.

كما ينبغي لممثلي الاتحادات الأكاديمية والهيئات الحكومية، مثل مكاتب التعداد، والمكتبات الوطنية، أن يشكلوا فرق عمل متعددة التخصصات، بهدف وضع سياسة تسمح بإنشاء صناديق بيانات عامة. ويجب أن يضطلع متخصصو العلوم الاجتماعية الحاسوبية بدورهم كمشرفين عامِّين على هذا المورد الجماعي، الذي سيكون من شأنه تعميق معرفتنا بأنفسنا ومجتمعاتنا.

جاثان سادوسكي عضو زمالة، وباحث في مختبر أبحاث التقنيات الناشئة في كلية تكنولوجيا المعلومات، وفي مركز التميز لصنع القرار الآلي والمجتمع في كلية الفنون، وكلاهما في جامعة موناش بمدينة ملبورن بأستراليا. أما سالومي فيليون، فهي أكاديمية وعضوة زمالة بكلية الحقوق بجامعة كولومبيا في مدينة نيويورك بالولايات المتحدة الأمريكية. وميريديث ويتيكر أستاذة حازت منحة ميندرو البحثية في جامعة نيويورك، كما أنها المؤسِّسة المشارِكة ورئيسة هيئة التدريس في معهد "الذكاء الاصطناعي الآن" AI Now في مدينة نيويورك بالولايات المتحدة الأمريكية.

البريد الإلكتروني: jathan.sadowski@monash.edu

1. Lazer, D. *et al. Nature* **595**, 189–196 (2021).
2. Dowling, R., McGuirk, P., Maalsen, S. & Sadowski, J. *Urban Stud.* https://doi.org/10.1177/0042098020986292 (2021).
3. Obermeyer, Z., Powers, B., Vogeli, C. & Mullainathan, S. *Science* **366**, 447–453 (2019).
4. Sadowski, J. *Big Data Soc.* https://doi.org/10.1177/2053951718820549 (2019).
5. Sloan, L. & Quan-Haase, A. (eds) *The Sage Handbook of Social Media Research Methods* (Sage Publications, 2017).
6. Hutchinson, B. *et al.* in *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency* 560–575 (Association for Computing Machinery, 2021).
7. Raji, I. D. *et al.* in *Proceedings of the AAAI/ACM Conference on AI, Ethics, and Society* 145–151 (Association for Computing Machinery, 2020).
8. Viljoen, S. Preprint at SSRN https://doi.org/10.2139/ssrn.3727562 (2021).
9. Lewis, R. A. *J. Contemp. Health Law Policy* **8**, 361–378 (1992).

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

كتب وفنون


LEWIS KHAN

كاثرين جرين (إلى اليسار) وسارة جلبرت طوَّرتا لقاحًا ضد «كوفيد-19».

مطوّرو لقاحات «كوفيد» يكشـفون خبايا السباق الدائر لمكافحة الجائحة

كتاب جديد يكشف خبايا السباق المحموم بين فريق «أوكسفورد-أسترازينيكا» وأقرانه لتطوير لقاح ينقذ البشر. **هايدي ليدفورد**

في أغسطس من عام 2020، كانت باحثة البيولوجيا كاثرين جرين تقضي مع ابنتها عطلة تخييم في ويلز. وعند متجر متجوِّل لبيع شطائر البيتزا، دارت محادثة بينها وبين غيرها من الزبائن، وأتى الحديث على الموضوع الذي كان يشغل الجميع: جائحة «كوفيد-19». قال أحد جيرانها في المخيَّم: "لا نعلم ماذا وضعوا في تلك اللقاحات. إنني لا أثق بهم، فهُم لا يقولون الحقيقة".

صانعو اللقاح: قصة لقاح «أوكسفورد-أسترازينيكا» والسباق مع الفيروس
سارة جلبرت، وكاثرين جرين
دار نشر «هودار آند ستوتن»، 2021

اللقاح
إخراج: كاثرين جيل، وكالِب هيلرمان
إنتاج: وينجسبان، 2021

والحقُّ أن جرين كانت تعرف الكثير عن اللقاحات؛ كيف لا، وهي مديرة وحدة تصنيع الأدوية الحيوية بجامعة أوكسفورد بالمملكة المتحدة، وعضوة في الفريق الذي طَوّر اللقاح الذي كان وقتذاك في مرحلة التجارب الإكلينيكية. تطمح شركة الأدوية «أسترازينيكا» AstraZenca، ومقرها كامبريدج بالمملكة المتحدة، إلى إنتاج نحو ثلاثة مليارات جرعة من هذا اللقاح، لتوَزَّع حول العالم بنهاية العام الجاري؛ وهو ما قد يسهم بقوة في الحماية من الوفاة، أو التعرُّض لإصابات حادة بالمرض. ولكن بعد مُضيّ نحو عام على تلك المحاورة التي دارت عند متجر البيتزا، لا تزال نظريات المؤامرة آخذةً في التفشّي، فتعرقل جهود التطعيم، وتُعرِّض حياة الناس للخطر، سواءٌ في المناطق التي تتوفر بها اللقاحات، أو المناطق التي لا تتوفر بها. وكانت «مؤسسة كايزر فاميلي» Kaiser Family Foundation، وهي مؤسسة غير ربحية مقرها مدينة سان فرانسسكو بولاية كاليفورنيا، قد انتهت في إبريل الماضي، عبر استبيان للآراء، إلى أن 54% من الأمريكان البالغين يعتقدون في صحة معلومات مغلوطة عن لقاحات كورونا، أو على الأقل لا يستبعدون أن تكون صحيحة (راجع: nature.com/3fyfaoi).

تقول جرين إن الانتشار الواسع للمعلومات المضلِّلة

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

عن اللقاحات كان الدافع وراء قرارها المشاركة مع زميلتها سارة جلبرت، باحثة اللقاحات بجامعة أوكسفورد، في تأليف الكتاب الذي بين أيدينا، وعنوانه: «صانعو اللقاح» *Vaxxers*. يسعى الكتاب إلى كشف خبايا عملية تصنيع اللقاحات، وإزالة ما قد يكون فيها من إبهام، بهدف أنسنتها، وخلق ألفة بين اللقاح ومَن يتلقَّونه، بما يقود إلى تعزيز الثقة فيها لدى عموم الناس. والكتاب - جنبًا إلى جنبٍ مع الفيلم الوثائقي: «اللقاح» *The Vaccine*، الذي أنتجَتْه شبكة «بي بي سي» بالاشتراك مع «أفلام سي إن إن» - يقدمان منظورًا فريدًا من داخل سباق اللقاحات، وكل ذلك بينما لا تزال الجائحة على أشُدِّها.

الكتاب والفيلم متكاملان فيما بينهما، على نحو يعظِّم الفائدة الناتجة عنهما معًا. فالفيلم يتتبَّع خمس فرق بحثية في سعيها اللاهث نحو تطوير اللقاحات، اعتمادًا على منهجيات مطروقة ومجرَّبة (مثل الفيروسات المثبَّطة)، وأخرى غير مسبوقة (مثل التقنيات القائمة على الحمض النووي الريبي المرسال (mRNA))، ويبيِّن التضحيات التي تكبَّدها الباحثون في سبيل ذلك، من قلة النوم، وتغيُّبهم عن أسرهم فتراتٍ طويلة. أما الكتاب، فيغوص بنا في أعماق عمل فريق واحد، فيتناول ما يواجهه هذا الفريق من تحديات تتصل بضغوط التمويل، والمقابلات الصحفية، والمسؤوليات الأسرية. وليس خافيًا أن الفِرَق جميعها تسعى – ما وسعها السعي – إلى الموازنة بين الالتزام بالمعايير المستقرة لتطوير اللقاحات من ناحية، والضغوط الناجمة عن الحاجة إلى إنتاج اللقاحات واختبارها بسرعةٍ لم يُعرف لها مثيل من قبلُ. وخلال ذلك كله، يحمل الباحثون على كواهلهم آمال البشرية جمعاء، وكلهم يدرك ذلك ويشعر به.

يعرض الفيلم صورًا تُظهر كُلفة العمل بلا هوادة، والتعرُّض لفترات طويلة من الإجهاد. فباحث الفيروسات بجامعة كوينزلاند في مدينة بريزبن الأسترالية، كيث شابل، عيناه يشتدُّ احمرارهما يومًا بعد يوم من أثر الإجهاد، الذي ينعكس أيضًا على هيئته غير المهندَمة. وفي شهر ديسمبر الماضي، حين بلغه أنَّ عليه التوقف عن العمل على مشروع اللقاح البروتيني الذي كان يعكف على تطويره، نراه وقد تهاوى كتفاه من الحسرة، في مشهدٍ يُدمي القلب. أما الباحثة وُو جويزهن، وهي متخصصة في السلامة البيولوجية بالمركز الصيني لمكافحة الأمراض والوقاية منها، ومقره بكين، فإنها تصف سُبُل التكيف مع ضغوط العمل في تلك الفترة بهذه الكلمات المعبِّرة: "عندما كان يبلغ منّي التعب مبلغه، إلى الحد الذي لا أستطيع معه المواصلة، كنتُ ألجأ إلى أخذ غفوةٍ قصيرة وأنا واقفة".

يتضمَّن الفيلم إشاراتٍ متفرقة إلى سردية شاعت في ذلك الوقت: وهي فكرة التنافس بين الفرق البحثية لإحراز قصب السبق في تطوير اللقاح. وكانت تقارير صحفية عديدة قد اعتمدت تلك السردية، في إطار ما افتُرض أنه سعيٌ إلى تحقيق الربح، ولا شيء غيره. ولكن السباق الحقيقي، حسبما أكَّدت جرين وجيلبرت مرارًا، لم يكن ضد الفرق الأخرى، وإنما كان دومًا ضد الفيروس نفسه، وحصيلة وفياته المتصاعدة.

كانت بداية قصة لقاح «أوكسفورد-أسترازينيكا» في عام 2014، حين كانت جلبرت تتنقَّل بين المِنَح البحثية والتعاقدات التمويلية في أوكسفورد، من أجل جمع ما يكفي من موارد لتشغيل مختبرها البحثي. في بادئ الأمر، ركَّزت جلبرت وجرين على استكشاف طرق لتطوير لقاح ضد مرض الإيبولا، ثم للاستعداد لوباء مستقبلي، أطلقتا عليه: «المرض المجهول». كانت طبيعة ذلك المرض غير معلومة، ولكن نشوءه بدا محتومًا.

لدى تطايُر الأنباء عن ظهور فيروس «سارس-كوف-2» في يناير 2020، خَطَرَ للباحثتين أن مرض «كوفيد-19» قد يكون هو «المرض المجهول». فما كان منهما إلا

> "الكتاب والفيلم متكاملان فيما بينهما، على نحو يعظم الفائدة الناتجة عنهما".

أن قررتا المخاطرة بسمعتيهما، وبقدر غير هيّن من أموال أوكسفورد، بالإقدام على إعداد لقاح لكورونا، حتى قبل أن يستقر الرأي على الحاجة إلى لقاح. ورغم أني أعددتُ في العام الماضي تقاريرًا صحافية تغطي العديد من أوجه عملية تطوير اللقاحات، لا يسعُني إلا الإقرار بأنني فوجئتُ بحجم الرهان الذي أقدمَتْ عليه الباحثتان في تلك الأيام المبكرة، ودون أن تتوثَّقا إن كانتا ستحصلان على التمويل الكافي. وفاجأني أيضًا أن القنانيَّ التي حملت أول طَلْع اللقاح، لتُستخدم في التجارب الإكلينيكية، كانت قد عُبِّئت يدويًّا بإحدى وحدات جامعة أوكسفورد.

بدءًا من أبريل 2020، أسهم التعاون مع شركة «أسترازينيكا» في تعزيز القدرات التصنيعية لفريق أوكسفورد. ولكنْ صاحَبَ هذا التعاونَ تضاربٌ في الثقافات، بين فريق أوكسفورد الأكاديمي قليل العدد، سريع الحركة من ناحية، والشركة الضخمة من ناحية أخرى. هذا التعاون، وتعاونٌ مشابه مع مركز الأمصال في الهند (في مدينة بيون)، ثم الإصرار المبكر على خفض السعر لأدنى حد ممكن، وإتاحته عالميًا، كل هذه العوامل مجتمعة أسهمت في أن تكون ثمار الرهانات الأولى لجرين وجيلبرت متاحة للبشرية كلها.

ويحوي الكتاب أيضًا لمحاتٍ عن بعض لحظات الإحباط التي تخلَّلت مسيرة تطوير لقاح «أوكسفورد-أسترازينيكا». ومن ذلك، على سبيل المثال، أن المؤلفتَين تشرحان سبب تلقِّي المشاركين في التجارب الإكلينيكية كميات متفاوتة من اللقاح، ولِمَ اضطُر بعضهم إلى انتظار الجرعة الثانية لفترات أطول من أقرانهم. وهاتان الحادثتان كلتاهما أسهمتا في اضطراب الصورة النهائية لنتائج التجارب على اللقاح.

وثمة لحظات مهمة أخرى لا تحظى في الكتاب باهتمامٍ كاف. فليس ثمة إشارة، مثلًا، إلى قرار جنوب إفريقيا، في فبراير الماضي، عدمَ استخدام ما لديها من جرعات «أوكسفورد-أسترازينيكا»، لأن اللقاح أخفق في الوقاية من الإصابة بسلالة «بيتا» المتحورة من فيروس «سارس-كوف-2»، التي كانت متفشِّية في البلاد آنذاك. وأما المخاوف من أمان اللقاح، فلا يأتي عليها الكتاب إلا بصورة عابرة. ومن هذه المخاوف أن تلقِّي اللقاح قد يصحبُه – في حالات نادرة للغاية – اضطرابٌ صحي يتمثل في تجلطات دموية قد تكون مميتة. وقد كان للمخاوف المرتبطة بتلك الجلطات، وكذا لقرار بعض الدول التوقفَ مؤقتًا عن توزيع اللقاح، أثرٌ هائل في إبطاء حملات التطعيم.

أبطال في الظل

يبقى أن الكتاب يُلقي الضوء على جهود البحث التي أثمرت اللقاحات، إلا أنها لم تحظَ بما تستحق من انتباه، كما يُظهر الحاجة الملحة إلى إبراز أهمية تلك الأبحاث. تركز المؤلفتان، بصفة خاصة، على الآليات المتَّبعة في تعجيل عملية تطوير اللقاحات، ليس باختزال معايير الأمان، أو التهاون في تطبيقها، وإنما بتحمل مخاطر مالية ضخمة، مثل إجراء عدة مراحل من تجارب اللقاح بصورة متزامنة. وقد اعتدنا أن نرى الباحثين يتوثقون من نجاح كل مرحلة من مراحل التجارب التي تُجرى على اللقاحات، قبل الانتقال إلى المرحلة التي تليها.

على امتداد الكتاب، تلجأ المؤلفتان إلى الصور المجازية المستلهَمة من الطعام، لتبسيط المسائل العلمية المطروحة فيه. ومن ذلك أنهما تشبِّهان المُستَنبَتات الفيروسية الأولى بخميرة العجين. أما المسار التقليدي لإجراء التجارب، الذي يقضي بتحصيل النتائج المخبرية الأولية، قبل التقدم بطلبٍ لتمويل الخطوة التالية، فهو – على حدِّ وصف المؤلفتين – أقرب إلى إعداد حفل شواء، وبدلًا من إحضار لوازم هذا الحفل دفعةً واحدة، إذا بك مضطر إلى الخروج مرةً تلو الأخرى لإحضار مكوّنات الطعام كلًّا على حدة. ولعلَّ اللغز الأكبر، الذي لا بد أنه سيُلحُّ على ذهن القارئ في نهاية المطاف، هو: من أين للمؤلفتين بالوقت اللازم لتأليف الكتاب في خضم هذا كله؟

ورغم أن بعض تتابُعات الأحداث وشروح المفاهيم العلمية قد تنطوي على شيء من التعقيد، فإن المؤلفتَين تتوخيان تبسيط كل شيء قدر المستطاع، بدءًا من مستوى البيولوجيا الجزيئية، وحتى تصميم التجارب الإكلينيكية التي خضع لها اللقاح. وفي حالة المصطلحات والمفاهيم العلمية المتشعبة (مثل هذا المصطلح: اللقاح المحمول على فيروس قردي مُطَعّم غير قادر على التكرار)، تحرص المؤلفتان على تقديم شروحٍ مبكرة لتلك المفاهيم، لتبيان كيفية عمل اللقاحات. ثم إنهما لا تكتفيان بذلك، وإنما تذيِّلان الكتاب بمُلحَق يشتمل على مكونات اللقاح، ووظيفة كل مكوِّن منها.

ليت هذا كله يكفي لتبديد المخاوف التي استمعَتْ إليها جرين قبالة متجر البيتزا في معسكر التخييم في ويلز. مما يؤسِف حقًّا أن عالمةً مثل جرين – بكل ما أوتيَتْ من قدرة على الإقناع والتبسيط – يصعُب علينا تخيُّل أنها ستكون قادرة على الوقوف في وجه طوفان الدعاية السلبية التي تستهدف اللقاحات، وتفيض بها مواقع التواصل الاجتماعي. لكنَّ ذلك لم يُقعِد المؤلفتَين عن المحاولة.

هايدي ليدفورد صحفية أولى في مجلة *Nature*، مكتب لندن.

JESSICA WYNNE

يرى بعض علماء الرياضيات أن استخدام الطباشير والسبورة أمر ضروري لمساعدتهم على التفكير، ويحتفي كتاب «لا تمحُ المكتوب» *Do Not Erase*، الصادر في عام 2021، بالأدوات التي يتكئ عليها هؤلاء العلماء.

التفكير خارج الدماغ: كتاب جديد عن «العقل الممتد»

هل تستطيع أجسادنا، وأدواتنا، والبيئة المحيطة بنا أن تحمل عن الدماغ بعضًا من العبء الإدراكي الواقع عليه؟ **أليسون أبوت**

واحدة من الصور المثيرة للفضول، التي يتكرر ظهورها في أعمال الخيال العلمي، هي صورة دماغ يسبح في وعاء زجاجي خارج الجسد. في سيناريو كهذا، يحل الوعاء محل الجسد الذي يولِّد ما يحتاجه الدماغ من عناصر غذائية، يَستمِد منها عافيته وقدرته على جمع المعلومات الكافية لفهم البيئة المحيطة به. والحواسُّ المختلفة (البصر، والسمع، واللمس، والتذوق، والشم، واستقبال الحس العميق) هي ما تساعدنا على الحركة في محيطنا بسلاسة، وعلى العثور على الطعام، أو الشركاء المناسبين للإنجاب. وحين يقدم صانعو عوالِم الخيال العلمي هذه الصورة، فإنهم يفترضون ضمنًا أن اضطلاع هذا الوعاء بمهمة تلبية الاحتياجات الأساسية للدماغ سوف يسمح بتكريس طاقة هذا العضو كلها لبلوغ أعلى درجات الذكاء والعبقرية.

أما الواقع، من وجهة نظر الكاتِبة العلمية آني ميرفي بول، فيختلف عن هذه الصورة كل الاختلاف. في كِتابها «العقل الممتد» *The Extended Mind*، تسُوق بول حُججًا مفادها أن الجسد، والعالَم بشكل عام، يلعبان دورًا في تحديد مدى ذكاء الإنسان. تذهب المؤلِّفة إلى أن بنية الدماغ البشري تعتريها أوجُه قصور شديدة الخطورة، تحُد من ملَكات التذكُّر، والانتباه، والتعامل مع المفاهيم المجردة. ومع ذلك، فإن قدرات الجزء المعني بالتفكير من الدماغ تمتدُّ إلى ما يتجاوز تلك الأغشية المبطِّنة للجمجمة. وفي ظل ما يشهده العالم الحديث من هوسٍ غير مسبوق بكل خارج عن المألوف من أفكار ومفاهيم مجردة، فإننا بحاجة للاستفادة من أية مساعدة يمكن لمفهوم «امتداد العقل» أن يقدمها لنا، وإن كان هذا الأمر، على وجه التحديد، هو ما يحاول المجتمع العلمي فهمه في الوقت الحالي، حسبما ترى بول.

على سبيل المثال، يمكننا إفراغ المعلومات خارج رؤوسنا عن طريق تدوين الملاحظات على أوراق لاصقة، أو في هواتفنا النقَّالة، أو أجهزة الكمبيوتر، أو بأن نُفضي بها إلى الأصدقاء والزملاء، أو حتى بالتعبير عنها بإشارات اليد. يمكننا أيضًا تحويل الأفكار إلى أشياء ملموسة، عن طريق بناء نماذج من المكعبات، أو الطوب، أو قِطَع الفسيفساء مختلفة الأشكال. إن خروج المعلومات من رؤوسنا، وتجسّدها على هذا النحو، يعني أن بإمكاننا التفكير فيها، والتعامل معها من مسافةٍ محايدة، أي دون الاضطرار لدفع الثمن الإدراكي المعرفي الباهظ الذي تقتضيه الحاجة إلى إبقاء تلك المعلومات في مقدمة أذهاننا أثناء أداء تلك العمليات. وهنا يتخفف الدماغ من عبءٍ كان مفروضًا عليه، ويتفرغ لاستغلال ما أصبح متاحًا لديه من موارد إدراكية إضافية تُعينه على الفهم أو حل المشكلات. ولعلَّ هذا ما دفع ليوناردو دافنشي إلى احتراف الرسم والصناعات اليدوية في آنٍ معًا، أو بناء الكيميائي جون دالتون، في القرن التاسع عشر، نماذج للذرة مستخدمًا الكرات والعِصِيّ. وهناك العديد من علماء الرياضيات الذين لا يزالون يدوِّنون أفكارهم بالطباشير على سبورة، معتبرين إيَّاها مساحةً خارجية لتخزين المعلومات.

والحقُّ أنني لستُ مطمئنةً تمامًا إلى الفكرة التي تنطلق منها المؤلفة، القائلة بأن مجتمع اليوم يقمع استخدام «امتدادات العقل»، أو يعجز عن فَهْم قيمتها، بل إنني أرى تعاونًا واسع النطاق في مجال تمديد العقل، بدايةً من المدارس، وصولًا إلى مختبر «سيرن» CERN، الذي تُجرى فيه تجارب الفيزياء عالية الطاقة. غير أن فرضية الكاتبة ربما تكون مرتبطة بما تلاحظه من تفضيل الامتدادات الرقمية على الامتدادات المادية؛ كما نرى في إقبال الكثيرين على استخدام منصة «سلاك» Slack بغرض التواصل، بينما تقلُّ نسبة المُقبلِين على التريُّض (أُسْوةً بتشارلز داروين، الذي كان يتريَّض سيرًا على ما أسماه «طريق التأمل»). ومهما يكُن من شيء، فإن طَرْح بول، الذي يدعو إلى رؤية الدماغ والجسد كجهاز تفكير مُركَّب ذي قدرات غير محدودة، يظل طرحًا مشوقًا، يجمع جهودًا بحثيةً من مجالات شتّى، بدءًا من التعليم والمشاريع، وحتى علم النفْس وعلم الأعصاب الإدراكي.



«العقل الممتد: قوة التفكير خارج الدماغ»
آني ميرفي بول
دار نشر «هوتون ميفلين هاركورت» Houghton Mifflin Harcourt (2021)

حيَل مساعِدة للدماغ

تتناول بول في كتابها العديد من الحيَل التي يمكن من خلالها تعزيز قدرة الشخص على التذكُّر والتركيز والتحليل. واحدة من بين تلك الحيَل، التي تحظى بتقدير واسع، هي حيلة «قَصْر الذاكرة» memory palace؛ وفيها يربط الشخص العناصر المُراد تذكرها بمكان معيَّن. استخدم خطباء الإغريق والرومان القدامى طريقة «المواضع المكانية» تلك لتأسيس ترابُط ذهني بين النقاط المُراد تذكرها في خطاباتهم وبين نوافذ أحد المباني أو واجهات المتاجر في أحد الشوارع على سبيل المثال.

وقد تحققت دراسات علمية من فعالية تلك الطريقة، التي تبيَّن أنها تقوم على الاستفادة من قدرات نظام المِلاحة الطبيعي في الدماغ. كما كشف علماء الأعصاب الإدراكية أن أبطال العالم في مسابقات الذاكرة، ومعهم سائقو سيارات الأجرة في لندن، تنْشَط لديهم مناطق دماغية مرتبطة بالذاكرة المكانية والتنقل بدرجة أعلى من المتوسط.

ويمكن لحركة بسيطة، مثل تحريك اليدين أثناء التحدث، أن يلقي بما تُطلِق عليه بول «الخطاطيف الذهنية» داخل عناصر محاضرة يجب إلقاؤها؛ للمساعدة في اجتذاب معلومة بعينها، أثناء وقوف الشخص عند منصة الإلقاء أمام جمهور المتلقِّين. ويمكن للحركة أن تساعد على التركيز، حتى وإن كانت الحركة من النوع المضطرب الذي قد يَصدُر عن الشخص عند وقوفه أمام مكتب بلا مقعد. لذا، تقول المؤلفة إنها تشفق على الطلاب المُجبَرين على الجلوس خلف مكاتبهم بلا حراك.

ويغوص بنا الكتاب في مسألة أخرى، هي كيفية تأثير البيئة المحيطة على طريقة تفكيرنا. وهنا، تطرح المؤلفة أسئلة عدة، منها: لماذا يقلل التواجد في الأماكن الطبيعة من الضغط النفسي الذي يؤدي إلى تراجع قوانا الإدراكية المعرفية؟ ولماذا يعتبر وجود الضوء الطبيعي في مكان

العمل أمرًا مهمًا؟ وجملة القول في هذه المسألة أن مسار تطور الجنس البشري قضى بأن يعمل الجسم على أفضل وجه في أثناء وجودنا في البيئات الخارجية. ومن هنا، تدعو بول إلى مناصرة المعمار البيولوجي الصديق للطبيعة، الذي تكون فيه النوافذ الواسعة والمساحات الخضراء عناصر أساسية في خطط البناء. وتُشيد بتصميم معهد سالك للدراسات البيولوجية في سان دييجو بولاية كاليفورنيا الأمريكية، بوصفه نموذجًا للرؤية العصرية لمعمار أديرة العصور الوسطى، إذ يشتمل على مساحات مُخصصة للاجتماع والحديث، وأخرى للتأمل في عُزلة. وتقول المؤلفة إن تلك المساحات تلبي حاجة الباحثين إلى التفكُّر في المفاهيم الصعبة، بعيدًا عما يشتِّت انتباههم، وكذا حاجتهم إلى خوض المناقشات مثمرة في الوقت نفسه.

ومما تجدُرُ الإشارة إليه أن هذه الحاجة الثانية تستفيد من مبدأ الامتداد الذهني، الذي يقوم على "التفكير من خلال علاقاتنا"؛ إذ تنظر الدراسات المعنيّة بهذه الظاهرة في الطُّرق المختلفة التي يمكن من خلالها للتفاعل الاجتماعي (مع الأقران والخبراء، أو من خلال التدريس، أو النقاش، أو التدريب الجماعي)، أن يساعدنا على التعلُّم أو التحليل. وفي هذا الصدد، تقول بول إن التفكير الجمعي يمكن توظيفه في توزيع العبء الإدراكي المعرفي.

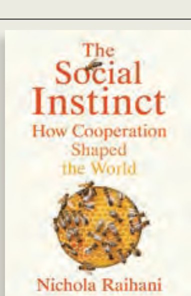
يستعرض الكتاب عددًا كبيرًا من الأبحاث، غير أن يتمُّ على عجل، فيختلط القوي منها بالضعيف، بصورة يصعب معها تمييز الغث من السمين في بعض الأحيان. ونظرًا إلى شيوع مشاكل تكرار النتائج البحثية في مجال علم النفس، فإن التمييز بين الأبحاث على أساس الجودة أمر لا غنى منه. ويحتوي الكتاب على أكثر من 70 صفحة من الملاحظات، لمن يريد تتبُّع الدراسات الكثيرة الواردة فيه. ومع ذلك، فلسببٍ ما، يبدو الكتاب في جملته أضعف من مجموع أجزائه.

أما عنصر «الاستراتيجيات»، أو الوسائل السلوكية، وهو العنصر الذي يلقى رواجًا بين الناشرين، فيبدو أنه قد وُضع على نحوٍ يناسب جميع القرّاء. لكي نعيش حياة أكثر ذكاءً، توصي بول بتحريك الأيدي أثناء الكلام بحرية، واستخدام الجسد في التعبير عن المفاهيم الأكاديمية التي تتسم بدرجة عالية من التجريد (هل هذا ما تسعى إليه مسابقة «السير في طريق الدكتوراه رقصًا» Dance Your Ph.D السنوية؟)، والتعلُّم في مجموعات، وممارسة العديد من الأنشطة الأخرى التي لا يمكن أن تؤتي ثمارها إلا في ظل ظروف بعينها. والملاحَظ أن الكتاب يُغفل قضايا مهمة، ترتبط بتركيب الشخصية، الذي يمكن أن يؤثر على مدى فعالية العديد من هذه الطرق والوسائل. فعلى سبيل المثال، هل يمكن لشخص انطوائي الطابع أن يُفيد من التعلُّم الجماعي مثلما يستفيد الشخص الاجتماعي؟ وهل يمكن لشخص مضطرب الحركة أن يستفيد من العمل الجسدي كما يستفيد شخص يتمتع باللياقة الحركية؟ لم تأتِ المؤلفة على أيٍّ من هذه الأسئلة، أو ما شابهها.

ورغم هذا كله، يحوي الكتاب بين دفّتيه أفكارًا لا مراء في صحتها. فقد قضى التطور بأن تستجيب أدمغتنا باستمرار للإشارات التي ترصد أجسادنا، والبيئة المحيطة بنا. ولا شكَّ أن المجتمع يتعين عليه التفكير في البيئة أكثر مما يفعل الآن. كما يجب على الأفراد الانتباه لاحتياجات أجسادهم. ومع ذلك، فلا داعي للمبالغة؛ فالدماغ – لا الجسد – يبقى هو المسؤول عن إتمام عملية التفكير الفعلي.

أليسون أبوت كاتبة علمية تقيم في مدينة ميونخ الألمانية.
البريد الإلكتروني: @alison.abbott.consultant
springernature.com

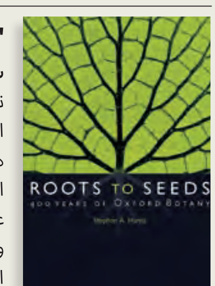
ملخصات الكتب



"الغريزة الاجتماعية" The Social Instinct

نيكولا ريهاني، دار نشر "جوناثان كيب" (2021)

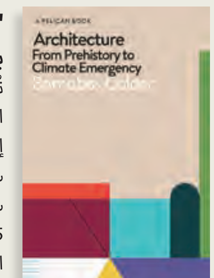
إن التعاون سيف ذو حدين؛ إذ تجده سيِّد الموقف إبَّان الحرب العالمية الثانية؛ حيث أَغْلَتْ الدول الشمولية منه بين أبناء الوطن الواحد، بينما تآزرت الدول الديمقراطية فيما بينها، في حين كان العمل يدًا بيد خلال الفترة التي أعقبت الحرب هو نفسه أحد العوامل التي مهَّدت الطريق لتأسيس هيئة الخدمات الصحية الوطنية في المملكة المتحدة، وتحقيق المساواة بين الجنسين. من هنا ترى عالِمة النفْس نيكولا ريهاني أنَّ التعاون هو مجرد وسيلة، بإمكانها أن تعود بالنفع إذا استُغِلَّت استغلالًا حسنًا، ولكنها أيضًا قادرة على إحلال الدمار إذا "وقعت في الأيدي الخطأ، أو أُسيء استغلالها". وفي هذا الصدد، تطرح ريهاني في كتابها تحليلًا شيِّقًا لظاهرة التعاون، يأخذنا في رحلةٍ ننتقل فيها من دهاليز عِلم الوراثة إلى أروقة عالَم السياسة، ومن واقِع الفرد إلى المشهد الدولي، الذي تتصدره قضايا متعددة، من بينها جائحة "كوفيد-19".



"من الجذور إلى البذور" Roots to Seeds

ستيفن إيه. هاريس، دار نشر مكتبة بودليان (2021)

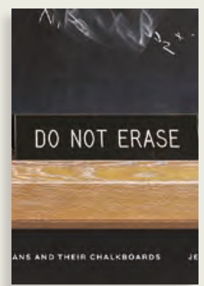
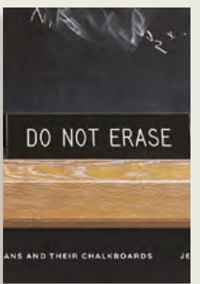
تأسست الحديقة النباتية بجامعة أكسفورد في عام 1621، وسُمِّيت باسم "حديقة الأعشاب الطبية"، تيمُّنًا بدورها المأمول في دعم جهود التدريب الطبي. ويَذكُر عالِم النبات ستيفن هاريس أن أحد النباتات الأُولى التي زُرِعت في الحديقة كان نبات "اليبروح" mandrake، الذي كان يُعتقَد أنه يُطلِق صرخة استغاثة حادة إذا ما اقتُلِع من الأرض؛ لمّا كانت جذوره تنمو على شكل إنسان ضئيل الحجم في حالة ذُعر. يأتي كتاب هاريس، الذي يسرد تاريخ الحديقة، والصادر بالتزامن مع معرض تُقيمه مكتبة بودليان في نفس الصدد، زاخرًا بمجموعة متنوعة من الرسوم التوضيحية والصور.



"الهندسة المعمارية" Architecture

برناباس كالدر، دار نشر "بيليكان" (2021)

تُشكِّل الانبعاثات الناتجة عن تشييد المباني وتشغيلها 39% من حجم انبعاثات الغازات الدفيئة التي يتسبب فيها الإنسان على مستوى العالَم، وذلك وفقًا لما أورده المؤرِّخ برناباس كالدِر في إطار سرده المؤثِّر والمُقلِق لتاريخ العلاقة بين الهندسة المعمارية والطاقة منذ القِدم. وعلى سبيل المثال، استهلك بناء هرم الجيزة الأكبر في مصر طاقةً أقل من تلك التي قد يستهلكها سبعة من سكان الولايات المتحدة في العصر الحديث على مدى حياتهم؛ إذ يُعتبَر الحجر أفضل 25 مرة من الخرسانة لدى قياس نسبة صلابته إلى حجم البصمة الكربونية التي يُخلِّفها. ومن هذا المُنطلَق، يدعو كالدِر المعماريين إلى وقف اعتمادهم على الوقود الأحفوري من خلال الالتفات إلى الدروس المعمارية التي تُقدِّمها لهم حضارات من الماضي، ومن بينها حضارة روما القديمة.

"لا تمسح السبورة" Do Not Erase

جيسيكا وين، دار نشر جامعة برينستون (2021)

تتصدر سبورة مُكتَظة بمعادلات رياضية كَتَبَها ألبرت أينشتاين أحد المتاحف في مدينة أكسفورد بالمملكة المتحدة. والمفارَقة في الأمر أن أينشتاين نفسه عارَض الإبقاء على هذه السبورة، في حين رحَّب 111 عالِمًا من علماء الرياضيات بالتقاط جيسيكا وين صورًا لسبوراتهم شديدة التنوع. كانت الأبسط من بين هذه الصور، صورة لسبورة تاداشي توكيدا. تَظهَر في الصورة دائرة، رُسِم إطارها باللون الأبيض على خلفية السبورة السوداء، وكُتِبت تحتها كلمة "أبيض". وفي نفس الصورة، تظهر دائرة ثانية، مُظلَّلة بالأبيض، وكُتِبت تحتها كلمة "أسود". يُشَبِّه توكيدا مشاهَدة سبورة أثناء الكتابة عليها بالطباشير بالاستماع إلى مقطوعة موسيقية، "كل نوتة منها على حدة". إنّ هذا الكتاب يتميز بالبساطة والإبداع، وإنْ كان مربكًا بعض الشيء.



"أرواح برِّيّة" Wild Souls

إيما ماريس، دار نشر بلومزبري (2021)

تستهل إيما ماريس، الكاتِبة المتخصصة في مجال البيئة، دراستها الخلابة عن التفاعلات بين الحيوانات البرِّية والبشر بوصف تفاصيل رحلة، اتجه فيها دعاة الحفاظ على البيئة إلى محمية في هاواي على متن طائرة هليكوبتر. كان الهدف من رحلتهم هو محاولة إنقاذ ثمانية أنواع من الطيور المُهدَّدة بسبب تدخلات بشرية، من بينها جلب البشر لفيروسات تنتقل عن طريق البعوض عندما وفدوا إلى هذه المحمية بِسُفُنهم في عام 1826. تتطرق الكاتبة أيضًا إلى الحديث عن حيوانات البيلبي الأسترالية، والقرود البيروفية، والذئاب التي أُعيد دمجها في البيئة بولاية أوريجون الأمريكية. وتتساءل ماريس: "إذا كانت النُّظم البيئية قد بُنيت على ركام الموت"، فأيّ الحيوانات "البرِّية" يُفترض الحفاظ عليه، وأيها يُترك للموت؟

أنباء وآراء

فسيولوجيا

آليات تؤسس لشيخوخة الهيكل العظمي في الخلايا الجذعية

ماثيو بي. جرينبلات، وشاوون ديناث

يكتنف الغموض الآلية التي تسهم بها الشيخوخة في فقدان العظام لكثافتها، بيد أن دراسة حديثة بينت أنه في الفئران الشائخة تفقد الخلايا الجذعية الهيكلية قدرتها على توليد الخلايا المكوِّنة للعظم، التي تُعرف باسم الخلايا البانية للعظم، وتحفِّز - بدلًا من ذلك - توليد خلايا تؤدي إلى ارتشاف العظم، تسمى الخلايا الآكلة للعظم.

تُعَد الشيخوخة مسببًا رئيسًا لنقص كتلة العظام، وهشاشة الهيكل العظمي. ويُعَد نقص كثافة العظام، الذي يحدث مع تقدُّم العمر، انعكاسًا لكثير من التأثيرات المتضافرة التي تُحْدِثها عمليات جزيئية وخلوية. ومن ثم، كان أصعب في فهمه من الصورة الميكانيكية المختلفة لنقص كثافة العظم المرتبط بهبوط مستوى هرمون الأستروجين في النساء بعد انقطاع الطمث[1-3]. من جهة أخرى، فإن دراسة آلية تأثير الشيخوخة على خلايا الهيكل العظمي باتت أسهل بفضل الفهم العميق الذي تَشَكَّل لدى العلماء فيما يخص هوية الخلايا الجذعية الهيكلية (SSCs)، وغيرها من مجموعات الخلايا السلفية القريبة منها سلاليًّا، التي تنتج خلايا مكوِّنة للعظم (تُسمى الخلايا البانية للعظم)[4،5]. وفي بحث نُشر مؤخرًا في دورية *Nature*، يبين توماس أمبروزي وفريقه البحثي[6] كيف تتغير وظائف الخلايا الجذعية الهيكلية مع تَقدُّم العمر، لتسهم في نقص كثافة العظام، وحدوث قصور في عملية تجدد الهيكل العظمي.

لتمييز أثر التغيرات الفطرية المستحثة بالشيخوخة في هذه الخلايا عن أثر التغيرات التي تنتج عن البيئة المحيطة، عمد أمبروزي وفريقه البحثي إلى عزل خلايا جذعية هيكلية من عظام فئران شابة (في عمر شهرين)، وعظام فئران شائخة (في عمر أربعة وعشرين شهرًا)، وزرعوها داخل فئران شابة، فكونت الخلايا المستزرَعة كتلًا صغيرة من النسيج العظمي. وكشفت هذه المقارنة عن وجود اختلافين جوهريين بين الخلايا الجذعية الهيكلية الشائخة، ونظيرتها الشابة (انظر الشكل 1أ، ب). أولهما هو أن كتلة العظم التي أنتجتها الخلايا الجذعية الهيكلية الشائخة كانت أصغر كثيرًا من تلك التي أنتجتها الخلايا الجذعية الهيكلية الشابة. أما الاختلاف الثاني، فهو أن الخلايا الشائخة كانت أقدر على تعزيز عملية تكوين الخلايا الآكِلة للعظم، وهو نوع من الخلايا يُنتَج في الدم، مسؤول عن الارتشاف العظمي. وعليه، فإن التقدم في العمر يحدّ من قدرة الخلايا الجذعية الهيكلية على الإبقاء على توازن صحي بين عمليتَي بناء العظام، وهدمه.

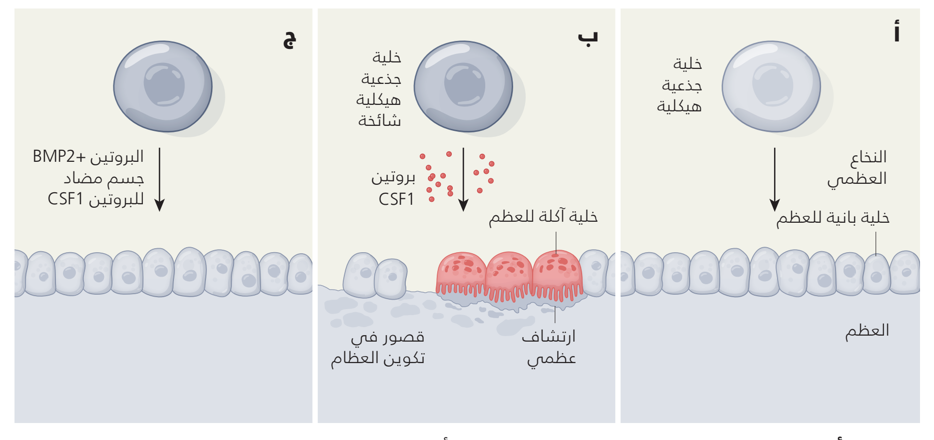
فحص الباحثون بعد ذلك مدى تأثُّر الشيخوخة في الخلايا الجذعية الهيكلية، فمَزَج الفريق البحثي جراحيًّا في الدورة الدموية للفئران بين خلايا جذعية هيكلية شائخة، وأخرى شابة. واتساقًا مع احتفاظ الخلايا الجذعية الهيكلية الشائخة بقصورها الوظيفي بعد الاستزراع، فإجمالًا، لم تسهم هذه المقاربة نسبيًّا إلا بصورة طفيفة في إعادة عملية تكوُّن العظم في الفئران الشائخة إلى الحالة الطبيعية. لذلك، فإن ما تسبِّبه الشيخوخة من إعادة برمجةٍ للخلايا الجذعية الهيكلية يبدو أنه ناتج عن التأثيرات المباشرة للشيخوخة على الخلايا الجذعية الهيكلية، أكثر من كونه ناجمًا عن سريان عناصر مرتبطة بالتقدم في العمر في مجرى الدم.

ونظرًا إلى أنه لم يَبْدُ أن بيئة جريان الدم في مرحلة الشباب تعالج شيخوخة الخلايا الجذعية الهيكلية، فربما يكون من الأفضل توجيه الجهود التي تبْذل لمكافحة شيخوخة هذه الخلايا نحو دراسة تأثير الشيخوخة على وظائف هذه الخلايا في المراحل المتقدمة من العمر. وتجدر الإشارة في هذا السياق إلى أنه عندما قام فريق الباحثين بقياس التعبير الجيني في الخلايا الجذعية الهيكلية الشائخة، وجد أن البروتين المعروف باسم عامل تحفيز المستعمرات 1 (CSF1)، (وهو بروتين قابل للتحلل والذوبان، ومحفز لنضوج الخلايا الآكلة للعظم)، تفرزه الخلايا الجذعية الهيكلية الشائخة بمعدلات أعلى، مقارنة بمعدلات إنتاجه في الخلايا الجذعية الهيكلية الشابة.

بناء على ذلك، اختبر الباحثون استراتيجية علاجية، تستهدف إبطاء شيخوخة الخلايا الجذعية الهيكلية. فاستعانوا بجزيئات أجسام مضادة ترتبط تحديدًا بالبروتين CSF1، وتثبط نشاطه، وخلطوها في مادة جيلاتينية مع البروتين BMP2 (وهو بروتين ذو تأثيرات معقدة قد تشمل تعزيز تكوُّن العظم[7])، ثم وضعوا المادة حول كسور في عظم الفئران الشابة، وعظم الفئران الشائخة. وأدى هذا الخليط، إلى تحسين التئام الكسور التي رُصدت لدى الفئران الشائخة.

وبوجه عام، يثبت هذا العمل البحثي بما لا يدع مجالًا للشك أن الشيخوخة تؤثر بشكل مباشر على الخلايا الجذعية الهيكلية، وأن القصور المرتبط بتقدم العمر في وظائف تلك الخلايا يُسهِم في تدهور الهيكل العظمي بمرور الوقت. ورغم ذلك، يظل من غير الواضح إلى أي درجة يعكس هذا القصور الذي تسببه الشيخوخة تغيرات محددة تطرأ على وظائف الخلايا الجذعية الهيكلية، مثل التجدد الذاتي، وليس تغيرات في طريقة تمايز هذه الخلايا، أو وظيفة ما تنتجه من خلايا بانِيَة للعظم.

وبالنظر إلى أن بحث أمبروزي وفريقه البحثي كان من أوائل الدراسات التي تحدد الأسس الكامنة وراء شيخوخة الهيكل العظمي، في مجموعات محددة جيدة التوصيف من الخلايا الجذعية، فهو يُعَد أساسًا قويًّا يمكن أن تنطلق



الشكل 1 | تأثيرات الشيخوخة على الخلايا الجذعية الهيكلية (SSCs). أ) تعمل الخلايا الجذعية الهيكلية كمصدر خلوي ينتِج خلايا مكوِّنة للعظام، تُعرف باسم الخلايا البانِيَة للعظم. وقدرة هذا المصدر على توليد الخلايا البانِيَة للعظم هي من العوامل التي تحسم سير عملية تخليق العظام بوجه عام، ومقاومة الهيكل العظمي للكسور. ب) أوضح توماس أمبروزي وفريقه البحثي في دراستهم التي أجروها على فئران[6]، أنه مع تقدُّم العمر تصبح الخلايا الجذعية الهيكلية أقل قدرة على توليد الخلايا البانِيَة للعظم. كما تنتج الخلايا الجذعية الهيكلية الشائخة مستويات مرتفعة من بروتين يُسمَّى CSF1، وهو بروتين قابل للذوبان، يسهم في توليد الخلايا المعروفة باسم الخلايا الآكلة للعظم، المسؤولة عن الارتشاف العظمي. وتؤدي هذه التأثيرات مجتمعةً إلى الإخلال بالتوازن المعتاد بين عمليتَي تكوين العظم، وارتشافه، ومن ثم تسهم في نقص كثافة العظم المصاحب للشيخوخة. ج) وقد انبثقت من هذا الإطار النموذجي استراتيجية علاجية جديدة، تركز على إعطاء المريض أجسامًا مضادة تعطل البروتين CSF1، مع إعطاء بروتين BMP2، لتعزيز وظائف الخلايا الجذعية الهيكلية. وقد بين الباحثون أن هذه الاستراتيجية تحسِّن التئام الكسور في الفئران الشائخة.

منه الدراسات المستقبلية المعنية بآليات شيخوخة الهيكل العظمي، ومنها الدراسات التي توضح كيف تسهم أنواع بعينها من الخلايا الهيكلية في نقص كثافة العظم المرتبط بالشيخوخة. ومن الجدير بالاهتمام - بوجه خاص - أن دراسات أجريت بالتوازي على الفئران قد برهنت على أن مجموعة من الخلايا الهيكلية التي توجد في نخاع العظم، والتي تنتج البروتينات CXCL12، وEBF3، وLEPR، تقف وراء الزيادة المطردة في نسبة الخلايا المكوِّنة للعظم مع التقدم في العمر[8-10]، غير أن علاقة هذه المجموعة من الخلايا بالخلايا الجذعية التي تناولها بحث أمبروزي وفريقه البحثي لا تزال غير واضحة. ومن الأهمية بمكان توضيح هذه النقطة، لتكوين صورة مكتملة أشمل عن الأسس الخلوية وراء شيخوخة الهيكل العظمي.

تسهم في شيخوخة الهيكل العظمي أيضًا مجموعة أوسع من التغيرات، تتجاوز التأثيرات الموضحة هنا، وتشمل تجمُّع الخلايا الشائخة، وارتفاع محتوى نخاع العظم من الدهون، فضلًا عن تغيرات تطرأ على الغضاريف المفصلية وبِنْية العظم، من بينها اتساع بنيتهما بوجه عام[11]. وسيتعين على الدراسات المستقبلية أن تقيِّم أيًّا من هذه المجموعة الكبيرة من التغيرات المصاحبة للشيخوخة ينجم تحديدًا عن تغيرات فطرية في الخلايا الهيكلية الجذعية، وأيها يعكس تأثير آليات شيخوخة أخرى.

إضافة إلى ذلك، فإن تعريفات الأنواع الخلوية التي تشكل العظام، بما فيها الخلايا الجذعية الهيكلية، بدأت تغدو أكثر دقة، ومن المحتمل أن يتكرر تنقيح تلك التعريفات، وأن يستمر ذلك على مدار الأعوام القليلة القادمة. وقد أشارت بالفعل دراسة نُشرت في شهر فبراير الماضي أن بعض مخاليط البروتينات الواسمة، التي استخدمها بعض الباحثين لتعريف الخلايا الجذعية الهيكلية، يمكن أن تُنتَج أيضًا في بعض الخلايا الناضجة المكوِّنة للعظم[12]. ويدل ذلك على أن الباحثين سيحتاجون إلى واسمات جديدة لتعريف الخلايا الجذعية الهيكلية، تميِّزها كمجموعة نقية من الخلايا الجذعية. وسوف يظل فهْمنا لآليات الشيخوخة التي ترتكز على وظائف الخلايا الجذعية الهيكلية بحاجة إلى مواكبة المستجدات المستمرة في تعريف أنواع خلايا الهيكل العظمي.

ماثيو بي. جرينبلات، وشاوون ديناث، يعملان في قسم الباثولوجيا والطب المعملي في كلية طب ويل كورنيل، نيو يورك 10065، الولايات المتحدة الأمريكية.
البريد الإلكتروني: mag3003@med.cornell.edu

1. Manolagas, S. C. *J. Bone Miner. Res.* **33**, 371–385 (2018).
2. Ucer, S. *et al. J. Bone Miner. Res.* **32**, 560–574 (2017).
3. Farr, J. N. *et al. J. Bone Miner. Res.* **34**, 1407–1418 (2019).
4. Chan, C. K. F. *et al. Cell* **160**, 285–98 (2015).
5. Chan, C. K. F. *et al. Cell* **175**, 43–56.e21 (2018).
6. Ambrosi, T. H. *et al. Nature* **597**, 256–262 (2021).
7. Salazar, V. S., Gamer, L. W. & Rosen, V. *Nature Rev. Endocrinol.* **12**, 203–221 (2016).
8. Matsushita, Y. *et al. Nature Commun.* **11**, 332 (2020).
9. Seike, M., Omatsu, Y., Watanabe, H., Kondoh, G. & Nagasawa, T. *Genes Dev.* **32**, 359–372 (2018).
10. Zhou, B. O., Yue, R., Murphy, M. M., Peyer, J. G. & Morrison, S. J. *Cell Stem Cell* **15**, 154–168 (2014).
11. Farr, J. N. *et al. Nature Med.* **23**, 1072–1079 (2017).
12. Matthews, B. G. *et al. eLife* **10**, e58534 (2021).

علم الأحياء الحاسوبي

ثورة في توقُّع البِنى البروتينية

محمد القريشي

مختبر رائد عالميًّا في الذكاء الاصطناعيّ يَلِجُ بكامل طاقته مجال توقُّع البِنى البروتينية. والأداة الناتجة، المسمَّاة «ألفافولد2»، تَعِد بتغيير فهْمنا للبروتينات.

يتجمَّع أغلب البروتينات ذاتيًّا في صورة بِنى محددة ثلاثية الأبعاد، تشترك مع جزيئات حيويّة في تحديد وظائف الخلايا وسلوكها. وخلال العقود الخمسة الماضية، حسم علماء البيولوجيا تجريبيًّا بِنَى أكثر من 180 ألف بروتين، وأودعوا بياناتها في «بنك بيانات البروتينات» Protein Data Bank[1]، وهو مورد متاح مجانًا على الانترنت. ورغم هذه الجهود المضنية، لا تزال بِنى مئات الملايين من البروتينات مجهولة، بما في ذلك بِنى أكثر من ثُلثي البروتينات في البروتيوم البشري؛ أي المجموعة الكاملة من البروتينات التي ينتجها الجينوم البشريّ.

وفي بحثيْن نُشرا مؤخرًا في دورية *Nature*، وصف عالِمان يعملان في «ديب مايند» DeepMind، الشركة الشقيقة لجوجل، والقائمة في لندن، أداة تعلُّم آلة تسمَّى «ألفا فولد2» AlphaFold2، تتوقَّع بِنى البروتينات بدقة مقارِبة للدقة التجريبيّة[2]، وأفادا باستخدام الأداة في توقُّع بِنى بروتينات البروتيوم البشريّ[3]. كما أعلنت الشركة أنها استخدمت أداة «ألفا فولد2» لتوقُّع بِنى بروتينات بروتيوم 20 حيوان تجارب (انظر: go.nature.com/2w6zhus). وأداة «ألفا فولد2» متاح استخدامها مجانًا للمجال الأكاديميّ، ومن المزمع أن تتيح شركة «ديب مايند» - بالتعاون مع معهد المعلوماتية الحيويّة الأوروبيّ في هينكستون بالمملكة المتحدة - البِنى المُتَوَقَّعة لكل ما عُرف تقريبًا من بروتينات بالمجان للجميع.

نظام «ألفا فولد2» - كما يوحي اسمه - هو الإصدار الثاني من نظام قدَّمته شركة «ديب مايند» قبل ثلاث سنوات في مسابقة التقدير التوقُّعي للبِنى البروتينية (CASP13). وكان الإصدار الأول منه مدهشًا من الناحية التقنيّة[4]، وتفوَّق في أدائه على منافسيه في المسابقة في مهمة توقُّع بِنى البروتينات من تسلسلات الأحماض الأمينيّة، إلا أنه حاد عن التنبؤات الدقيقة لبِنى أصعب مجموعات البروتينات التي شملتها اختباراته بمقدار 6.6 أنجستروم في المتوسط. يعني هذا أنه في البروتينات متوسطة الترتيب في تلك المجموعات، كانت الذرّات في البِنى البروتينية التي توقعها النظام تبعد في المتوسط بمقدار 6.6 أنجستروم عن مواقعها الفعليّة. وهذا التنبؤ أقل دقة بكثير من الطرق التجريبيّة.

وإضافة إلى ذلك، زعم البعض أن نظام «ألفا فولد» الأصليّ لم يكن إلا صورة محسَّنة على نحو طفيف من خوارزميات منافِسة، سواء فيما يتعلق بالتصميم، أم الأداء، إلا أن الإصدار الثاني «ألفا فولد2» يغير هذا جذريًّا. ففي الدورة التالية من المسابقة سالفة الذكر، التي أقيمت في عام 2020 باسم (CASP14) لم تَحِد توقعاته عن التنبؤات الدقيقة للبِنى البروتينية إلا بمقدار 1.5 أنجستروم، أي أن مواقع ذرّات البِنى التي تنبأ بها كانت تفصلها ذَرّة واحدة عن مواقعها الفعلية، فيما يدل على دقة تقترب من الطرق التجريبيّة. كما أن تصميمه لا يتشابه مع الكثير من الخوارزميات الموجودة بالفعل.

وتتسم مهمة توقُّع البِنى البروتينية بالصعوبة لعدة أسباب؛ فالأشكال المحتملة لأي بروتين عددها ضخم، إلا أن الخوارزميّات يجب أن تنتقي أحدها فقط؛ كما أن عدد البِنى المعروفة قليل (نسبيًّا)، وهو ما يحدّ حجم البيانات المتاحة لتدريب أنظمة توقُّع البِنى البروتينيّة. والقواعد التي تحكم الفيزياء الحيوية للبروتينات ليست معروفة تمامًا، ومحاكاة هذه الآليات باهظة التكاليف؛ كما أن العوامل التي تحسم بِنْية البروتين لا تنشأ فقط من التفاعلات الموضعيّة فيما بين المجموعات الكيميائية المتقاربة في جزيء البروتين، وإنما تنشأ أيضًا من التفاعلات طويلة المدى، التي تمتد عبر البروتين كاملًا. وقد أفاد الباحث جون جامبر وفريقه البحثي بعدد كبيرٍ من الأفكار للتصدي لهذه الصعوبات في أثناء تصميمهم لنظام «ألفا فولد2».

يرتكز هذا التصميم على شبكة لتعلُّم الآلة تضع في اعتباراتها التفاعلات الموضعيّة والتفاعلات طويلة المدى في جزيئات البروتينات.

يرتكز هذا التصميم على شبكة لتعلُّم الآلة – تُعْرَف باسم الشبكة العصبيّة الاصطناعيّة – تضع في اعتباراتها التفاعلات الموضعيّة والتفاعلات طويلة المدى في جزيئات البروتينات. وهذا يمثل نهجًا يختلف عن نهج الخوارزميات المبتكرة سابقًا لهذه الغاية، التي كانت عادةً ما تضع في اعتباراتها التفاعلات الموضعيّة فقط، لتخفيف العبء الحسابي في عملية توقُّع البِنى البروتينية. ولا يسعى نظام «ألفا فولد2» إلى رصد التفاعلات طويلة المدى باستخدام القدرات الحاسوبية بشكل بحت، وهو ما كان ليسفر عن محاولات يائسة لتحقيق هذه الغاية، حتى باستخدام الموارد المتاحة

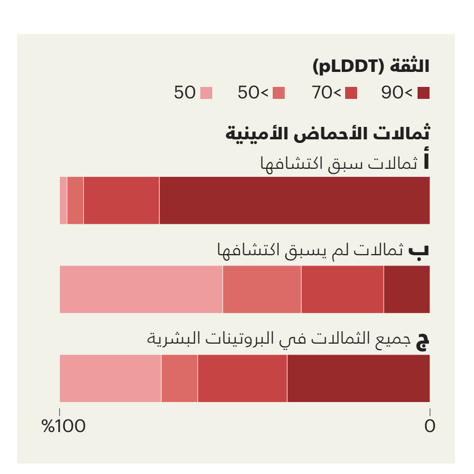
لدى شركة «جوجل». وبدلًا من ذلك، استحدث الباحثون عمليّات حسابيّة، ترصد التفاعلات طويلة المدى بكفاءة، بناءً على الملامح الأساسية للتركيب الهندسي للبروتين. وعلى سبيل المثال، تضع هذه العمليّات الحسابية في الاعتبار أن إحداثيات أي ثلاث ذرات في أي بروتين يجب أن تستوفي قاعدة متباينة المثلث (بعبارة أخرى، أن مجموع أطوال أي ضلعين من المثلث الذي تشكله الإحداثيات يجب أن يكون أكبر من طول الضلع المتبقي، أو يساويه).

ويستخدم نظام «ألفا فولد2» هذه العمليّات بشكل متكرر (حوالي 200 مرة) لينقِّح تدريجيًّا نموذج شكل البروتين، حتى الوصول إلى بِنْيته النهائيّة ثلاثيّة الأبعاد. وهذا التنقيح المتكرر، الذي يُسْتخدم ملايين المرات، لا مئات المرات، هو مكوِّن رئيس في المنهجيّات الفيزيائيّة لتوقّع بِنَى البروتينات[5]، إلا أنه نادرًا ما يُسْتَخْدَم في منهجيّات تعلُّم الآلة، التي تتوقع البنى، بدلًا من ذلك، بالتعرُّف على أنماط الطفرات في البروتينات القريبة تطوريًّا من بعضها البعض؛ لاكتشاف ثمالات الأحماض الأمينيّة متزامنة التطور، وبالتالي المتقاربة مكانيًّا[6]. ويخرج نظام «ألفا فولد2» عن القالب بدمج هاتين الاستراتيجيتين معًا. ومن الأهمية بمكان هنا أن نظام «ألفا فولد2» لا يفرض القواعد المعروفة للفيزياء الحيوية الخاصة بالبروتينات، ولا يسعى إلى محاكاة عمليّة طيّ البروتين الفيزيائية، كما حدث في المحاولات السابقة[7،8]. وعوضًا عن ذلك، يُجري بشكل بَحْت عمليّة تنقيح للتركيب الهندسي، تَعَلَّمها من محاولاته المتكررة لتوقُّع البِنى البروتينيّة. ومن هنا، يُعَد مثالًا على الثورة المدفوعة بتقنيات تعلُّم الآلة، التي اكتسحت مجال نمذجة البروتينات[6،9].

وفي ورقة بحثية ملحقة بتلك الخاصة بهذه الدراسة، أفادت كاثرين تونياسوفوناكول وفريقها البحثي[3] باستخدام نظام «ألفا فولد2»، ليتوقعوا تقريبًا جميع بِنى جميع البروتينات البشريّة التي تتخذ من تلقاء نفسها أشكالًا ثلاثية الأبعاد محددة بوضوح، وهو ما بلغ عدده إجمالًا 23391 بروتينًا. وكانت التوقعات بهذا العدد ممكنة سابقًا، إلا أن ثمة ثلاث مزايا للنظام الجديد تمثِّل خطوة كبيرة إلى الأمام.

أولًا، دقة التوقعات كبيرة بما يكفي لبناء فرضيّات، واستحداث معلومات بيولوجية، يمكن التحقق من صحتها تجريبيًّا. ثانيًا، التقييم الذاتيّ بناءً على معايير محددة لدقة كلّ توقُّع يتيح تقديرًا موثوقًا لصحة التوقعات على مستوى ثمالات الأحماض الأمينيّة المفردة (شكل 1)، وهو ما يمكِّن علماء الأحياء من الاستدلال على مواضع البروتينات المتوقَّعة بثقة. ثالثًا، يمكن استخدام نظام «ألفا فولد2» في التنبؤ ببِنَى بروتينات كاملة، ومنها البروتينات الكبيرة ذات الوحدات المتعددة ذاتية التجميع، وهي خاصّية شائعة في بروتينات الكائنات الثديية، مما يعني أن هذا النظام يتوقع "بموثوقية" بِنى حوالي 60% من جميع مواضع البروتينات البشريّة. أما غالبية المناطق المتبقيّة، فيُحتمل أنها غير قادرة على اتخاذ أشكال محددة بوضوح، أو لا تستطيع فعل ذلك، إلا في وجود جزيئات حيويّة أخرى.

وقد ساعد نظام «ألفا فولد2» بالفعل اختصاصِيّ علم الأحياء البنيوي على التوصل إلى البِنى البلورية[10] لبعض البروتينات، وتنقيح التنبؤات حول بِنى بروتينية أخرى، جرى التوصل إليها باستخدام تجارب المجهر الإلكترونيّ فائق التبريد، حيث إنه يتيح لعلماء



الشكل 1 | الثقة في توقعات نظام «ألفا فولد2» للبِنَى البروتينية. أفاد الباحث جون جامبر وفريقه البحثي[2] بابتكار نظام تعلُّم آلة يُسَمَّى «ألفا فولد2»، يتوقَّع البِنَى البروتينيّة ثلاثيّة الأبعاد من خلال تسلسلات الأحماض الأمينيّة. واستخدمت كاثرين تونياسوفوناكول وفريقها البحثي[3] النظام نفسه لتوقّع بِنَى جميع البروتينات البشريّة التي تتجمع ذاتيًّا لتكوِّن بِنى محددة ثلاثيّة الأبعاد. وقد أنتج نظام «ألفا فولد2» معيارًا لقياس الثقة في تنبؤاته، يسمّى اختبار الفَرْق المتوقع في المسافة الموضعيّة (pLDDT)، لتقدير مدى تَوافُق الموضع المتوقع لكل ثمالة حمضٍ أمينيّ مع المواضع التي تم تحديدها تجريبيًّا، بدرجة من 1 إلى 100. وتُظهِر الرسوم البيانيّة أجزاء الثمالات التي تعبِّر عن نطاقات مختلفة في اختبار الفرق المتوقع في المسافة الموضعية، حيث: أ هي الثمالات التي سبق اكتشافها في تجارب تحديد البِنَى (3440359 ثمالة)، وب هي الثمالات التي لم يكن في الإمكان اكتشافها في التجارب (589079 ثمالة)؛ وج، هي جميع الثمالات في البروتينات البشريّة (10537122 ثمالة). (البيانات من المرجع رقم 3)

الفيزياء الحيوية الدارسين لحركة البروتينات بِنى بادئة (استاتيكيّة)، كما يتيح للباحثين الدارسين لتفاعلات البروتينات استحداث فرضيّات عن كيفيّة ارتباط أسطح البروتينات ببعضها البعض. كذلك يطرح «ألفا فولد2» فرصًا لصياغة خوارزميات جديدة لمجال نُظُم المعلومات الحيويّة، بناءً على البِنى البروتينيّة. وقد يساعد «ألفا فولد2» علماء بيولوجيا الأنظمة الحيوية على فهم سلوك المسارات الخلويّة والآليات الجزيئيّة، على أساس البِنى التي تشكِّلها. كما أن دراسات التطور التي تتناول نشأة الفئات الجديدة من البِنى البروتينية وعلاقتها بالوظائف الخلوية ولياقة الكائن الحي – وهي دراسات اعتمدت لزمن طويل على التسلسلات الجينيّة – صار إجراؤها اليوم أسهل.

وهذا يحث المرء حثًّا على تشبيه حجم هذا التقدم العلميّ بحجم إنجازات «مشروع الجينوم البشريّ»، إلا أن ثمة اختلافات مهمة بين كليهما. فعلى عكس تسلسلات الجينوم البشريّ، لم يتم تأكيد البِنَى التي توقعها نظام «ألفا فولد» تجريبيًّا بعد. وسيستغرق ظهور أدلة على صحة توقعاته وقتًا، حتى يثق العلماء في هذه التنبؤات. ولا شك أنّ القياسات التجريبيّة قد تتأثر بـ"التشويش" على عمليات القياس، والتحيزات، وعدم اكتمال البيانات (كمثال، مرّت 20 سنة على نشر أول مسودة بحثية عن الجينوم البشريّ، والتسلسل الكامل له[11])، وعادة ما تتطلب التقنيات الحديثة لتحديد البِنى بعض الاستدلال الحسابيّ. ومع تحسُّن توقعات «ألفا فولد2»، قد يصبح من الصعب البت في التناقضات بين نماذج البروتينات، والتجارب، وهو موقف مألوف لعلماء الفيزياء[12]، إلا أنه غير مسبوق غالبًا في حقل البيولوجيا.

أما المواضع التي تتسم بتركيب فوضوي في البروتينات، والتي لا تملك أشكالًا محددة بوضوح، لكنها تشفِر في الغالب أجزاء ذات وظائف مهمة من البروتينات، فهي تمثِّل تحديًا مستمرًا وأساسيًّا أمام «ألفا فولد2»، وبالتالي تمثل عائقًا يَحُول دون فهْمنا لبِنْية بعض البروتينات. ويلزم لدى تصميم الوسائل المستقبليّة أخذ هذا التركيب الفوضوي في الاعتبار، والبدء في فهم المرونة المتأصلّة في أغلب البروتينات.

أما في المقارنات الأخرى بين مشروع الجينوم البشريّ، والتقدُّم محل الدراسة، فترجح كفة نظام «ألفا فولد2»، حيث إن التنبؤ بالبِنَى البروتينيّة رخيص التكلفة (نسبيًّا)، وستكون التوقعات حول بِنى جميع البروتينات متاحة عن قريب، بينما استغرقت تقنيّة تعيين التسلسلات الجينيّة سنوات لتنتشر وتزدهر. والوسائل الحوسبية تتطور، ومن ثم ربما يصبح من الممكن قريبًا توقُّع بِنى المركبات المعقدة متعددة البروتينات، والبِنى البديلة للبروتين (في البروتينات التي تبدِّل هيئتها)، وبِنَى البروتينات المصممة، وذلك بمستويات من الدقة تضاهي مستوى الدقة الذي يحرزه حاليًّا نظام «ألفا فولد2». وأخيرًا، فالبِنَى البروتينية تتيح على الفور فهمًا متعمقًا لبعض النواحي البيولوجية، لأنها تتناسب مع الأطر النظريّة الراسخة التي تربط بِنْية البروتين بوظيفته، على عكس التسلسلات الجينيّة، التي كانت غامضة - إلى حد كبير - في فجر عصر علم الجينوم. ومن ثم، قد نحصد ثمار هذه الثورة الجديدة أسرع.

محمد القريشي
يعمل في مركز إرفينج الطبي في جامعة كولومبيا، جامعة كولومبيا، نيويورك، نيويورك 10032، الولايات المتحدة الأمريكية.
البريد الإلكتروني: m.alquraishi@columbia.edu

1. Bernstein, F. C. *et al. J. Mol. Biol.* **112**, 535–542 (1977).
2. Jumper, J. *et al. Nature* **596**, 583–589 (2021).
3. Tunyasuvunakool, K. *et al. Nature* **596**, 590–596 (2021).
4. Senior, A. W. *et al. Nature* **577**, 706–710 (2020).
5. Kuhlman, B. & Bradley, P. *Nature Rev. Mol. Cell Biol.* **20**, 681–697 (2019).
6. AlQuraishi, M. *Curr. Opin. Chem. Biol.* **65**, 1–8 (2021).
7. Jumper, J. M., Faruk, N. F., Freed, K. F. & Sosnick, T. R. *PLoS Comput. Biol.* **14**, e1006578 (2018).
8. Ingraham, J., Riesselman, A., Sander, C. & Marks, D. *Int. Conf. Learning Representations* https://openreview.net/forum?id=Byg3y3C9Km (2019).
9. Wu, Z., Johnston, K. E., Arnold, F. H. & Yang, K. K. *Curr. Opin. Chem. Biol.* **65**, 18–27 (2021).
10. Millán, C. *et al.* Preprint at bioRxiv https://doi.org/10.1101/2021.06.21.449228 (2021).
11. Nurk, S. *et al.* Preprint at bioRxiv https://doi.org/10.1101/2021.05.26.445798 (2021).
12. Brumfiel, G. *Nature* https://doi.org/10.1038/nature.2012.10249 (2012).

يقر المؤلف بعدم وجود تعارض في المصالح.

فيروس كورونا

دراسة ممتدَّة للاستجابة المناعية لمرض «كوفيد-19»

أندرياس رادبروخ، وهيون-دونج تشانج

تحديد المدى الزمني للمناعة التي يكتسبها المتعافون من الإصابة بفيروس «سارس-كوف-2» ضروري لفهم مسار الجائحة، والتنبُّؤ بتطوراتها. وتشير دراسات إكلينيكية إلى أن المناعة سوف تكون طويلة الأمد.

من أجل السيطرة على جائحة «كوفيد-19»، وحماية الفئات المعرَّضة للإصابة بأعراض المرض الحادة، والحدِّ من انتشار فيروس «سارس-كوف-2» المسبِّب له، لا بد لأجسامنا من اكتساب مناعة ضد هذا الفيروس. يوفر الجهاز المناعي هذه الحماية إما عن طريق الاشتباك المعقَّد مع الفيروس عند الإصابة به، أو الاستجابة لأحد اللقاحات. ومن بين الأسئلة المحورية التي تُطرَح في هذا الصدد، سؤالٌ يتعلق بالمدى الزمني لاستمرار هذه المناعة. وللإجابة عن هذا السؤال، أعدَّ فريقان من الباحثين (يقود الأول جاكسون تيرنر[1]، وتقود الثاني زيجون وانج[2]) دراستين تقدِّمان توصيفًا للاستجابات المناعية البشري لدى المصابين بالفيروس على مدى عام.

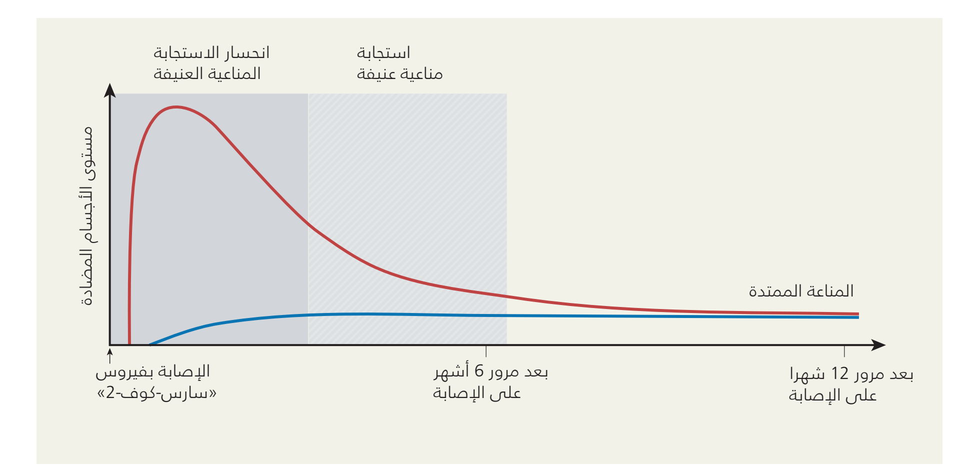
ثمة نقاش دائر بشأن أي الجوانب من استجابة الجهاز المناعي لفيروس «سارس-كوف-2» هي ما يمكن اعتبارها العناصر الفاعلة في تكوين مناعة ضده (أو، بعبارة أخرى، العناصر المرتبطة بتوفير حماية مناعية). ومع هذا، فإن إجماعًا يكاد أن ينعقد على أنَّ الركنين الأساسيين في استجابة الجسم للفيروس يتمثلان في خلايا مناعية تُدعَى «خلايا تي القاتلة»، التي تستطيع القضاء على الخلايا المصابة بصورةٍ انتقائية؛ والأجسام المضادة المحيِّدة، وهي نوع من الأجسام المضادة يمنع الفيروسات من إصابة الخلايا، وتُفرَز هذه الأجسام بواسطة الخلايا المناعية التي تُعرَف بخلايا البلازما. أما الركن الثالث، الذي ترتكز عليه الاستجابة المناعية الفعّالة، فيتمثل في إنتاج «الخلايا التائية المساعِدة»، وهي خلايا مختصة بكل فيروسٍ على حِدة، ومسؤولة عن تنسيق الاستجابة المناعية. ولهذه الفئة الأخيرة من الخلايا أهمية كبرى في توليد الذاكرة المناعية، وبصفةٍ خاصةٍ في عملية تنظيم إنتاج خلايا البلازما طويلة الأجل[3]، التي تستمر في إفراز الأجسام المضادة للفيروس حتى بعد زواله.

على أنَّ الذاكرة المناعية ليست نسخة طويلة الأمد من الاستجابة المناعية الفورية ضد فيروس بعينه؛ وإنما تمثل وظيفةً منفصلة من وظائف الجهاز المناعي. ففي المرحلة التي يتذكَّر فيها الجسم إحدى الاستجابات المناعية، تكون الخلايا البائية والتائية المختصة بصَد فيروس بعينه مستقرة في وضع الخُمول، ولكنها مهيَّأة لأنْ تنشط إذا ما عاود الفيروس مهاجمة الجسم، أو تلقَّى الشخص اللقاح الذي يقوم مقام هذا الفيروس. تنشأ هذه الخلايا البائية والتائية الذاكرة عن الخلايا التي نشطت في أثناء الاستجابة المناعية الأوّلية للعدوى. في تلك المرحلة، تخضع الخلايا لتغيرات في الحمض النووي الكروموسومي، تُعرف بالتعديلات فوق الجينية (epigenetic modifications)، التي تمكِّن هذه الخلايا من التفاعل السريع مع المؤشرات اللاحقة لتكرار الإصابة، وتوجيه عناصر الاستجابة المناعية المُهيَّأة للقضاء على العامل المسبِّب للمرض[4]. تضطلع الخلايا البائية بدور مزدوج في الاستجابة المناعية؛ فهي من ناحية تُنتج أجسامًا مضادة يمكنها التعرف على بروتينات الفيروسات، ومن ناحية ثانية، يمكنها أن تقدم أجزاءً من هذه البروتينات لخلايا تائية محددة، أو أن تتحوَّل إلى خلايا بلازما، قادرة على إفراز الأجسام المضادة بكميات كبيرة. وقد اكتشف العلماء، قبل 25 عامًا تقريبًا[5]، أن خلايا البلازما يمكنها أن تتحول إلى خلايا ذاكرة، لتفرز أجسامًا مضادة كفيلة بتأمين وقاية طويلة الأمد؛ إذ يمكن لخلايا البلازما الذاكرة أن تبقى في نخاع العظم لعقود، أو حتى مدى الحياة[6].

ولعلَّ وجود خلايا البلازما طويلة الأجل، القادرة على إفراز الأجسام المضادة داخل النخاع العظمي، هو المؤشر الأفضل على وجود مناعة ممتدة. وفي حالة فيروس «سارس-كوف-2»، ركَّزت أغلب الدراسات حتى الآن على تحليل المرحلة العنيفة من الاستجابة المناعية، وهي المرحلة التي تقتصر على بضعة أشهر بعد الإصابة بالعدوى، ومراقبة الخلايا التائية والبائية والأجسام المضادة المُفرَزة[7]. ومع ذلك، لم يتضح من تلك الدراسات إنْ كانت الاستجابة لهذا الفيروس تُنتج خلايا البلازما الذاكرة طويلة الأجل، التي تفرز أجسامًا مضادة له.

ومن هذا المنطلق، أقدَمَ تيرنر وزملاؤه على استكشاف خلايا البلازما الذاكرة، التي تفرز أجسامًا مضادة، في النخاع العظمي للمتعافين من مرض «كوفيد-19» (الأشخاص الذين يمرون بفترة النقاهة). ولما كانت خلايا البلازما الذاكرة نادرةً في العموم، فإن تلك الخلايا التي تختص بفيروس بعينه ستكون بطبيعة الحال شديدة الندرة. ورغم ذلك، رصد فريق الباحثين خلايا البلازما الذاكرة التي تفرز أجسامًا مضادة للبروتين الشوكي، الذي يحمل الشفرة الجينية لفيروس «سارس-كوف-2»، لدى 15 شخصًا من بين 19 سبق أن أصيبوا بالعدوى، بعد انقضاء سبعة أشهر تقريبًا على الإصابة. ومن الجدير بالملاحظة أنه عندما فحص الباحثون عيِّنات دمٍ مأخوذة من المشاركين بعد مُضيّ أربعة أشهر على هذا التاريخ (أي بعد مرور 11 شهرًا على الإصابة بالفيروس)، وجدوا أن عدد خلايا البلازما ظلَّ ثابتًا في جميع المشاركين، عدا شخصًا واحدًا. وقد لوحظ أن أعداد تلك الخلايا لم تشهد زيادةً سريعة؛ الأمر الذي يدل على أنها خلايا بلازما ذاكرة حقيقية؛ فقد كانت أعدادها مساوية لخلايا البلازما الذاكرة التي يُعثَر عليها عادةً في جسم الشخص بعد تلقي لقاح التيتانوس أو الدفتيريا، اللَّذين يوفران مناعة ممتدة في مواجهة هذين المرضَين.

عندما راقب تيرنر وفريقه تركيزات الأجسام المضادة لفيروس «سارس-كوف-2» في عيّنات الدم المأخوذة من المشاركين في الدراسة خلال مدة زمنية تصل إلى عام كامل، رصدوا نمطًا ثنائيَّ الطور (الشكل 1). ففي أثناء الاستجابة المناعية العنيفة، التي صاحبَتْ الإصابة بالعدوى في بدايتها، لوحظ أن تركيزات الأجسام المضادة كانت مرتفعة. تبِع ذلك انخفاضٌ في هذه التركيزات، كما كان متوقَّعًا، نظرًا إلى قِصَر عمر أغلب خلايا البلازما الناجمة عن الاستجابة المناعية العنيفة. وبعد بضعة أشهر، استقرت تركيزات



الشكل 1 | الاستجابة المناعية للإصابة بفيروس «سارس-كوف-2». تتزايد البيانات التي تسلط الضوء على الجوانب الممتدة من استجابة الجهاز المناعي البشري للإصابة بفيروس كورونا. وأحد مكونات هذه الاستجابة يتمثل في الأجسام المضادة التي تستهدف البروتينات الفيروسية (الخط الأحمر). في أثناء المرحلة الأولية، العنيفة، من الاستجابة المناعية، تبلغ مستويات الأجسام المضادة ذروتها سريعًا، إذ تفرزها خلايا مناعية قصيرة الأجل، تُعرف بخلايا البلازما. يقدم تيرنر وزملاؤه[1] أدلة إكلينيكية، من أشخاص سبق أن أصيبوا بمرض «كوفيد-19»، على أن خلايا البلازما الذاكرة طويلة الأجل، التي تفرز أجسامًا مضادة، تُنتَج داخل نخاع العظم. تستطيع هذه الخلايا إنتاج الأجسام المضادة لفترةٍ ممتدة، مما يحقق قدرًا من الوقاية يستقرُّ عند 10% إلى 20% من كم الأجسام المضادَّة التي تُرصَد في أثناء المرحلة العنيفة من الاستجابة المناعية (الخط الأزرق). خلايا البلازما الذاكرة هي نوع من الخلايا يمكن أن يبقى في الجسم أعوامًا عدة، أو حتى مدى الحياة[8]. وقد ضمَّنت وانج وزملاؤها[2] دراستهم توصيفًا لسلوك الأجسام المضادة في الفترة بين ستة أشهر وعام لدى الأشخاص المتعافين من الإصابة بفيروس «سارس-كوف-2»؛ وانتهوا إلى نتائج تقدِّم دليلًا إضافيًا على تولُّد ذاكرة مناعية ضد هذا الفيروس.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

الأجسام المضادة، وظلت ثابتة عند 10-20% تقريبًا من أقصى قيمة مرصودة من الأجسام المضادة في الجسم. تتسق هذه النتيجة مع الفرضية القائلة بأن نسبة خلايا البلازما الذاكرة تبلغ 10-20% من خلايا البلازما المتولِّدة عن الاستجابة المناعية العنيفة[5]، فيما يُعَد دليلًا جليًّا على حدوث تحوُّل في إنتاج الأجسام المضادة من خلايا البلازما قصيرة الأجل إلى إنتاجها بواسطة خلايا البلازما الذاكرة. وليس هذا بالأمر المفاجئ؛ بالنظر إلى أن الذاكرة المناعية الناتجة عن كثيرٍ من الفيروسات واللقاحات تظل ثابتة على مدار عقود، أو ربما مدى الحياة[8].

في حالة الفيروس «سارس-كوف»، وهو أحد فيروسات كورونا شديدة الشبه بفيروس «سارس-كوف-2»، اكتُشف في الأصل في عام 2003، ويسبِّب الإصابة بالمتلازمة التنفسية الحادة الوخيمة (سارس)، ظلت الأجسام المضادة المحيِّدة موجودة بمستويات عالية في عيّنة الدم لأكثر من 17 عامًا، حسبما ورَد في دراسة[9] نُشرت في عام 2020. وتشير النتائج التي توصَّلت إليها وانج وفريقها إلى أنَّ مناعةً طويلة الأمد يمكن أن تتولَّد ضد «سارس-كوف-2» أيضًا. أفاد الباحثون بإجراء دراسة تتبُّعية للأجسام المضادة في عينة الدم والخلايا البائية الذاكرة، المتولِّدة إثر الإصابة بفيروس «سارس-كوف-2»، بعد عام تقريبًا من تاريخ الإصابة. كان الفريقُ قد أخضع المشاركين في الدراسة، في وقتٍ سابق، للفحص بعد مرور ستة أشهر على الإصابة[10]. غير أن الباحثين رصدوا الآن – والآن فقط، بعد مُضي عامٍ على الإصابة – حدوث تحوُّل من الاستجابة المناعية العنيفة إلى إنتاج ذاكرة مناعية.

أثبتَتْ وانج وزملاؤها أن تركيز الأجسام المضادة المحيِّدة بقي ثابتًا دون تغيير بعد الإصابة لفترة تراوحت بين 6 أشهر و12 شهرًا. بل لوحظ كذلك أن الاستجابة المناعية العنيفة قد امتدَّت لما يزيد على ستة أشهر، وفقًا لما أشار إليه التحليل الذي أجراه المؤلفون على الخلايا البائية الذاكرة، التي تتولَّد عند الإصابة بفيروس «سارس-كوف-2»، في دم الأشخاص المتعافين على مدار عام. تستمر هذه الخلايا في تحسين قدرة الأجسام المضادة للفيروس على التفاعل، عن طريق عملية تُعرف بالتطفُّر الجسدي المفرط (somatic hypermutation). برهن الباحثون على هذه النتيجة بإجراء اختبارات معمليّة لقياس قدرة الأجسام المضادة على تحييد عددٍ من سلالات «سارس-كوف-2» المتحوِّرة.

أوضحت وانج وفريقها أنه يمكن تعزيز المناعة المتولِّدة لدى المتعافين عن طريق تطعيمهم بعد عام. فعندما اتُّبع هذا الإجراء مع المشاركين في الدراسة، أسفر ذلك عن إنتاج مزيد من خلايا البلازما، مصحوبًا بزيادة في مستوى الأجسام المضادة للفيروس حتى 50 ضعفًا لمستواها قبل التطعيم. وأكبر الظن أن نسبةً من خلايا البلازما سوف تتحوَّل إلى خلايا البلازما الذاكرة، إلا أن ذلك لم يثبُت بصورةٍ قطعية، كما لم تَثبُت إلى الآن فعالية اللقاحات المقاوِمة للفيروس في حثِّ الجسم على توليد ذاكرة مناعية مستقرة وممتدة.

عند تقييم فعالية أحد اللقاحات، ينبغي ألا ننتظر الحصول على تركيزات مرتفعة من الأجسام المضادة، الناجمة عن التفاعلات المناعية العنيفة، في مرحلة توليد الذاكرة المناعية[11]. ثمة اعتقاد قديم خاطئ، يقول به الداعون إلى إعادة التطعيم مرارًا، بأن تركيزات الأجسام المضادة في أثناء عمليات التفاعل المناعي العنيفة يمكن أن تُقارَن بالمستويات التي يصل إليها الجسم في مرحلةٍ لاحقة، لحساب العمر النصفي المتخيَّل للمناعة القائمة على الأجسام المضادة. إن هذا الاعتقاد يتجاهل سمةً مميِّزة للاستجابة المناعية: وهي أنها ثنائية الطور، أي تمرُّ بمرحلتين متمايزتين (الشكل 1).

ما يدعو للتفاؤل أن الأدلة العلمية المتاحة حتى الآن تشير إلى أن الإصابة بفيروس «سارس-كوف-2» تستحثُّ الجسم على توليد مناعة ممتدَّة لدى غالبية الأشخاص. ولنا أن نرى في هذا نتيجةً إيجابية تبعث على الاستبشار، بانتظار مزيد من البيانات المتعلقة بالذاكرة المناعية الناتجة عن تلقِّي اللقاحات.

أندرياس رادبروخ، وهايون-دونج تشانج
باحثان بالمركز الألماني لأبحاث الروماتيزم في برلين (DRFZ)، التابع لمعهد لايبْنِتْس، برلين 10117، ألمانيا.
البريد الإلكتروني:
radbruch@drfz.de
chang@drfz.de

1. Turner, J. S. *et al. Nature* **595**, 421–425 (2021).
2. Wang, Z. *et al. Nature* **595**, 426–431 (2021).
3. Crotty, S., Kersh, E. N., Cannons, J., Schwartzberg, P. L. & Ahmed, R. *Nature* **421**, 282–287 (2003).
4. Löhning, M., Richter, A. & Radbruch, A. *Adv. Immunol.* **80**, 115–181 (2002).
5. Manz, R. A., Thiel, A. & Radbruch, A. *Nature* **388**, 133–134 (1997).
6. Chang, H.-D. & Radbruch, A. *Eur. J. Immunol.* https://doi.org/10.1002/eji.202049012 (2021).
7. Sette, A. & Crotty, S. *Cell* **184**, 861–880 (2021).
8. Amanna, I. J., Carlson, N. E. & Slifka, M. K. *N. Engl. J. Med.* **357**, 1903–1915 (2007).
9. Anderson, D. E. *et al. Emerg. Microbes Infect.* **9**, 900–902 (2020).
10. Gaebler, C. *et al. Nature* **591**, 639–644 (2021).
11. Hammarlund, E. *et al. Nature Commun.* **8**, 1781 (2017).

أقرَّ المؤلفان بعدم وجود تعارض في المصالح.

علم المواد

منسوجات تتحوَّل من الحالة المرنة إلى الصلبة تحت تأثير الضغط

لوران أورجياس

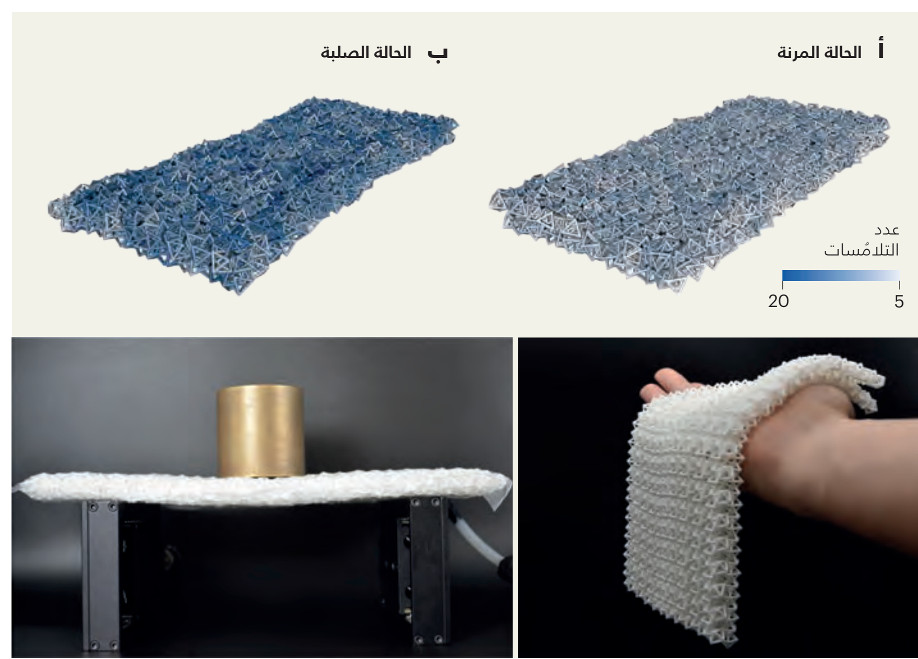
أعاد فريق من الباحثين دراسة الخصائص الميكانيكية لسلاسل حلقات متداخلة، كتلك الموجودة في دورع الزَّرَد. وتكشف النتائج أنَّه عند تعريض المواد ذات البنية المستوحاة من تلك السلاسل لضغطٍ محيطيّ، يُمكن أن تتحول من بِنًى لينة إلى بِنًى صلبة، تمتاز بقدرة عالية على تحمُّل الأوزان، وما أشبهها من الأحمال.

أفاد الباحث يوفيان وانج وزملاؤه[1] بتمكُّنهم من ابتكار منسوجات تتكون من طبقات، قوام الطبقة الواحدة جسيمات ثلاثية الأبعاد متداخلة؛ فيما يمكن أن يُعَد نسخة عالية التقنية من دروع الزَّرَد التي شاع استخدامها بين فرسان العصور الوسطى. تخضع هذه المواد، عند تعريضها لضغطٍ محيطي عند أطرافها (confining pressure)، لتحوُّلٍ طوري يُعرَف بالتحوُّل التكديسيّ. وهذا يُحدِث تغييرًا كبيرًا في خصائصها الميكانيكية، محوِّلًا إياها من منسوجات مرنة إلى أغلفة صلبة. ويمكن أن يكون لهذه المنسوجات الاستثنائية تطبيقات نافعة في الطب والهندسة.

ثمة طلب متزايد على المواد التي تحمل خصائص مُحسَّنة من أجل استخدام معين، أو الحصول على مزيج من خصائص مفيدة، أو حتى خصائص استثنائية غير متحققة في الطبيعة. وعادةً ما يتمثَّل النهج المتَّبَع لتحقيق هذه الأهداف في تعديل خصائص المواد الكيميائية، وبنيتها النانوية، والعمل على تحسينهما، إلا أنَّ هذه الاستراتيجية تعتريها بعض أوجُه النقص أحيانًا. وثمة نهج مُكمِّل[2]، يتمثل في تصميم مواد «مُعدَّلة»، ذات خصائص طوبولوجيّة ومورفولوجيّة مُصمَّمة خصيصًا لتحقيق غرض معين في النطاق المتوسط (الذي يتراوح عادةً بين بضعة ميكرومترات وبضعة ملّيمترات)، ويُمكن أن تحوي بِنًى تحتية أساسية مُركَّبة. تشمل الأنظمة موادَّ ذات طابع خلوي[3,4] (مثل الرغاوي وبِنى أقراص العسل)، وأخرى مصنوعة من ألياف متشابكة[5] أو وحدات فرعية متداخلة[6]، وكذلك المواد التي تتسم بِنَاها الواقعة في النطاق المتوسط بأنها نشطة (أي يتغير سلوكها استجابةً لأحد المحفزات)، أو قابلة للبرمجة[7-9].

وقد اجتذبت المواد المعدَّلة اهتمامًا متناميًا على مدار العقدين الماضيين، مدفوعًا بالتقدُّم المُحرَز في العمليات التي يُمكن الاستعانة بها في تصنيع بِنًى متوسطة الحجم، وكذا بالتطورات الأحدث، المتمثلة في تسخير تقنيات الذكاء الاصطناعي وتعلُّم الآلة في تصميم المواد[10]. ومع ذلك، تَلزم الإشارة إلى أن المواد ذات البِنى متوسطة الحجم ليست بالشيء الجديد؛ فالورق والمنسوجات، مثلًا، مواد ذات بنى متوسطة الحجم.

ومن الأمثلة التاريخية الأخرى، درع الزرد يتكون من حلقات معدنية متداخلة. كان الهدف من وراء تصميم دروع الزرد الحصول على دروع تتسم بمقاومة شد عالية، بحيث تقي مُرتديها من الضربات والطعنات، على أن تكون مرنة في ذات الوقت، كي تنثني وتُلائم حركة الجسم البشري كما ينبغي. وفي الحق أن كل أنظمة المواد المكوَّنة من وحدات منفصلة، ومنها سلاسل الحلقات المتداخلة في دروع الزرد والمواد الحبيبية، تُبدي تحوُّلًا طوريًا[11] عند تعريضها لضغط يُحوِّل خصائصها الميكانيكية من مرنة إلى صلبة. ولكن، خلافًا لما يحدث في الأنظمة الحبيبية، فإن التحوُّل التكديسي



الشكل 1 | يؤدي ازدياد التلامس بين الجسيمات إلى تغيير الخصائص الميكانيكية لأحد منسوجات سلاسل الحلقات المتداخلة تحت تأثير الضغط المحيطي. أعدَّ وانج وزملاؤه[1] قطعة منسوجة، تتكون من طبقات جسيمات ثلاثية الأبعاد متداخلة، مستوحاة من دروع الزَّرَد. **أ)** عند القيم المنخفضة للضغوط المحيطية (مُتضمِّنة ضغط الوسط المحيط الملامس للعيّنة)، تكون التلامسات بين جسيمات القطعة المنسوجة قليلة نسبيًّا، وتكون المادة مرنة. وقد نَتَج عدد التلامسات الموضَّح في الرسم التصويري من تعريض المادة لضغطٍ محيطي مقداره 2 كيلو باسكال. **ب)** عند قِيم الضغوط المحيطية الأعلى (93 كيلو باسكال في الرسم التصويري)، يزداد عدد التلامسات بين الجسيمات، لتصبح المادة أشدَّ صلابة، وأقدر على تحمُّل أحمال ثقيلة، مثل الكتلة البالغ مقدارها 1.5 كيلوجرام الموضحة في الرسم. الشكل مأخوذ من الشكلين 1 و3 في المرجع رقم 1، مع إجراء تعديلات لملاءمة أغراض البحث.

(jamming transition) في سلاسل الحلقات المتداخلة يُمكن أن يحدث عند الانحناء، أو تحت ضغط الحمولة المُسببة للشد، وذلك بسبب الشكل غير المحدب لعناصرها البنيوية وتداخُلها.

وفي هذا الصدد، أعاد وانج وفريقه دراسة الخصائص الميكانيكية لسلاسل الحلقات المتداخلة، مع تركيز اهتمامهم على التحول التكديسي. بيَّن الباحثون في دراستهم كيف أنَّ خصائص الشد والانثناء لدى عينة منسوجة، مستوحاة من دروع الزَّرَد، يُمكن أن يطرأ عليها تغيُّر جذريّ، بحيث تنعكس إلى الضدِّ عندما تتعرَّض لضغط محيطي، يعمل كقوة دافعة إلى إحداث هذا التغيير. استعان مؤلفو الدراسة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد لتصنيع سلاسل حلقات متداخلة من أحد البوليمرات؛ وكل حلقة فيها عبارة عن جسيم مجوَّف ثلاثي الأبعاد، يتألف من دعامات رَبط (الشكل 1 - أ). وعندما وضعوا المادة داخل كيس بلاستيكي مرن، مُغلق بإحكام، وفرَّغوه منه الهواء بمضخة، كان الضغط المحيطي كبيرًا بما يكفي لإحداث التحوُّل التكديسي لسلاسل الحلقات المتداخلة. ولاحظوا أنَّ زيادة الضغط المحيطي من 0 إلى 93 كيلو باسكال يُمكن أن تزيد صلابة سلسلة الحلقات حوالي 25 مرة (الشكل 1 - ب).

ولكي يقف الباحثون على الآليات الرئيسية الكامنة وراء التشوه الحادث داخل حدود النطاق المتوسط، أجروا محاكاة عددية لسلاسل حلقات متداخلة ذات تراكيب بنيوية متباينة تحت تأثير الشد أو الانثناء، عند قيم مختلفة للضغوط المحيطية. وأظهرت عمليات المحاكاة أنَّ الزيادة في الصلابة، التي أمكن رصدُها في التجارب، قد صاحبها انخفاض ضئيل (أقل من 5%) في حجم سلسلة الحلقات المتداخلة، ما أسفر عن زيادة عدد التلامُسات بين الحلقات في السلاسل المختلفة (الشكل 1). وأوضح فريق الباحثين أنَّ التلامسات الناتجة من شكل الحلقات غير المحدب، وتداخُل الحلقات بعضها مع بعض، هما عاملان رئيسيّان في تحديد كفاءة التحوُّل التكديسي تحت تأثير الشد والانثناء. ومما يثير الدهشة أنَّهم وجدوا أيضًا أنَّ الزيادة في معامل الانثناء الظاهري (الذي يقيس صلابة المادة عند الانحناء) لسلسلة من الحلقات المتداخلة يتغير كدالة من دوال قانون الأسس في متوسط عدد تلامُسات كل حلقة من حلقات السلاسل، بغض النظر عن التركيب البنيوي المستهدَف بالمحاكاة.

> "هذه المواد المرنة، الخفيفة، المسامية يمكن أن تتحوَّل بسهولة إلى أغلفة صلبة".

تفتح سلاسل الحلقات التي ابتكرها وانج وفريقه الباب واسعًا أمام العديد من الاستخدامات أخرى، بالنظر إلى أنَّ هذه المواد المرنة، الخفيفة، المسامية يمكن أن تتحوَّل بسهولة إلى أغلفة صلبة. على سبيل المثال، يمكن أن تُطوَى إحدى هذه السلاسل طيَّات متعددة، ثم تُحشَر داخل مادة ساكنة مُختارة، قادرة على تحمُّل الأحمال، مثل هيكل خارجي، من أجل استخدامها في تطبيقات طبية حيوية، أو رياضية، أو عسكرية. ويُمكن أيضًا أن تكون هذه السلاسل نافعةً في مجالات الهندسة المدنية أو الميكانيكية، عند استخدامها كَبِنًى قابلة للتشكُّل حسب الحاجة (أي أشياء يمكن أن تُغيِّر شكلها بطريقةٍ تُحدِث تغييرًا كبيرًا في حجمها، لإنشاء ملجأ أو جسر مؤقت مثلًا).

غير أنَّ النتائج التي انتهى إليها الباحثون لا تخلو من أوجه القصور، التي تُعَد بمثابة تحديات مُحفِّزة للعمل على تجاوزها في المستقبل. ومن ذلك، مثلًا، أن التجارب التي أجراها الفريق لقياس مقدار انثناء عيّنة من المادة، استجابةً لقوةٍ مسببة للانحناء، جرى تنفيذها عند قيم متفاوتة من الضغط المحيطي. يُضاف ذلك إلى أنهم رصدوا علاقة خطية بين القوة ومقدار انثناء المادة - أي ما تُبديه من مرونة - عند تعريضها لقوى ضئيلة، وركَّزوا جُلَّ اهتمامهم على هذه المرونة في تحليلهم. أما العلاقة التي رصدوها عند القوى الكبيرة فكانت علاقة غير خطية، وقد أصبحت هذه العلاقة أوضح عند الضغوط المحيطية الأعلى. لذا، ينبغي إجراء مزيد من التحليل لآليات النطاق المتوسط المسؤولة عن هذا السلوك غير الخطي.

تجدُرُ الإشارة إلى أنَّ هناك العديد من التراكيب البنيوية لسلاسل الحلقات المتداخلة، التي يُمكن اختبارها الآن لاستكشاف تأثيرها على الخصائص الميكانيكية لسلاسل الحلقات المتداخلة. وربما يكون الاعتماد على خوارزميات الذكاء الاصطناعي[10] نهجًا جديرًا بالاعتبار، في سبيل تحسين البنية الهندسية للحلقات، لتحقيق المزيج المنشود بين المرونة، والسلوك التكديسي، والقدرة على تحمُّل الأحمال. وفضلًا عن ذلك، سيكون من المثير للاهتمام التحوُّل من البوليمر التقليدي، الذي استخدمه الباحثون، إلى مواد نشطة، مثل البوليمرات نانوية البنية ذات المرونة الحرارية[7]، أو السبائك الذاكرة للشكل[9،5]. وربما يتيح استخدام مثل هذه المواد تعديل صلابة السلاسل في إحدى بِنى سلاسل الحلقات المتداخلة عند مواضع مختلفة. بقي أن نشير إلى أنَّ سلاسل الحلقات المتداخلة هي بِنًى ثنائية الأبعاد في الأساس؛ ومن ثَمَّ، فإن الخصائص الميكانيكية للنُسَخ ثلاثية الأبعاد من هذه المواد تستحق الدراسة.

لوران أورجياس: باحث في مختبر 3SR، وجامعة جرينوبل ألب الفرنسية، والمركز الوطني الفرنسي للبحث العلمي، وجامعة جرينوبل للتقنية.

البريد الإلكتروني: laurent.orgeas@3sr-grenoble.fr

1. Chen, J. *et al. Nature* **596**, 281–284 (2021).
2. Saxton, R. A. & Sabatini, D. M. *Cell* **168**, 960–976 (2017).
3. Liu, G. Y. & Sabatini, D. M. *Nature Rev. Mol. Cell Biol.* **21**, 183–203 (2020).
4. Wolfson, R. L. *et al. Science* **351**, 43–48 (2016).
5. Bar-Peled, L. *et al. Science* **340**, 1100–1106 (2013).
6. Saxton, R. A. *et al. Science* **351**, 53–58 (2016).
7. Vellai, T. *et al. Nature* **426**, 620 (2003).
8. Saxton, R. A., Chantranupong, L., Knockenhauer, K. E., Schwartz, T. U. & Sabatini, D. M. *Nature* **536**, 229–233 (2016).
9. Chantranupong, L. *et al. Cell* **165**, 153–164 (2016).
10. Maddocks, O. D. K. *et al. Nature* **493**, 542–546 (2013).
11. Gu, X. *et al. Science* **358**, 813–818 (2017).

أقرَّ المؤلف بعدم وجود تضارب في المصالح.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

كيف نواجه نقص الغذاء في المُدُن؟

زيا مهرابي

تنويع سلاسل الإمداد يمكن أن يَحُدَّ من تعرُّض المناطق الحضرية للصدمات الغذائية.

يعيش أكثر من نصف سكان العالم في مناطق حضرية، ومن المتوقع أن تزيد هذه النسبة[1] لتصل إلى 68% بحلول عام 2050. وفي هذه المناطق، يعتمد السكان على سلاسل الإمداد لإنتاج الغذاء وشرائه وإعداده وتوصيله؛ وهم معرَّضون لتحمُّل تبعات الانقطاعات محتملة في سلاسل الإمداد، ونقص الغذاء نتيجة التغيرات التي تطرأ على الأنشطة البشرية والظواهر الطبيعية. ومع الوقت، يتزايد إدراكنا لضرورة تحسين تماسك النظام الغذائي وتعزيز قوته؛ لكن يبقى السؤال بشأن الطريقة المثلى للتصدي لنقص الغذاء في الحضر مطروحًا على الصعيدين البحثي والسياسي. وفي دراسة بدورية *Nature*، يبحث ميشيل جوميز وفريقه[2] في آلية تدفق المنتجات الزراعية إلى المدينة، وكيف أنها تعتمد على مدى تنوع الشركاء التجاريين فيها. ويطبق المؤلفون أفكارًا مستوحاة من المجال الهندسي؛ مثل تلك التي يستخدمها العلماء للتأكد من أن البنية التحتية محمية من الفيضانات، سعيًا إلى جمع بيانات تدعم تصميم الأنظمة الغذائية، التي يمكن أن تقدم الدعم للمدن عند مواجهة نقص في المنتجات الغذائية.

على مدى عقود، حذّر العلماء والقائمون على القطاع الصناعي من مخاطر نقص الغذاء، الذي يمكن أن يترتَّب على طائفة متنوعة من الأسباب المحتملة. فقد يحدث نتيجة للفيضانات، أو موجات الحر، أو الآفات الزراعية، إلى جانب الأوبئة، والأزمات الاقتصادية، والسياسات التجارية[3]. وأخيرًا، دفعَت جائحة «كوفيد-19» القطاع الأكاديمي، والمجتمع بصفة عامة، إلى إعادة طرح السؤال بشأن مدى هشاشة الإمدادات الغذائية بالحضر (الصورة 1).

اقترح الباحثون كثيرًا من الحلول للتعامل مع المخاطر الناتجة عن نقص الغذاء؛ بداية من ممارسات الإدارة الزراعية القادرة على تحقيق التأقلم مع التغير المناخي، وصولًا إلى دعم أنظمة الغذاء المحلي والاكتفاء الذاتي[4]. وقد حظي أحد تلك الحلول باهتمام كبير؛ يتمثل في زيادة عدد المنتجات الزراعية وتنوعها، وزيادة عدد المزارع، والشركات المعنية بشراء المنتجات الغذائية وتوصيلها. قد يعزز تنوع سلاسل الإمداد الغذائية من قدرة المدن على التصدي لأزمات نقص الغذاء، مثلما يحدث في مجال الاقتصاد؛ إذ يحد الاستثمار في مجموعة متنوعة من الأسهم من مخاطر الخسارة.

اعتمدت الدراسة على بياناتٍ تتعلَّق بمصادر وأماكن وصول السلع الزراعية المختلفة في 284 مدينة، و45 منطقة جغرافية تقع خارج المدن في الولايات المتحدة الأمريكية. وقد حدد مؤلفو الدراسة أنظمة الغذاء المحلية لكل مدينة؛ وهي جميع المناطق الجغرافية التي تمد تلك المدينة بالمحاصيل الزراعية أو اللحوم أو الحيوانات الحية أو الأعلاف. ثم حدد المؤلفون عدد المدن التي واجهت مستويات مختلفة من الاضطرابات المفاجئة في الإمداد الغذائي؛ والتي يطلقون عليها الصدمات الغذائية، ويستندون في حسابها إلى الفَرْق في النسبة المئوية بين الحد الأدنى لكميات الإمدادات والمتوسط الخاص بها لكل قطاع غذائي على مدى أربعة أعوام لكل مدينة. وبصورة أكثر تحديدًا، حسب الباحثون عدد المدن التي يزيد فيها الفارق بين المتوسط والحد الأدنى في أي عام من تلك الأعوام الأربعة عن



الصورة 1 | أرفف أحد المتاجر خاوية من السِّلع الغذائية في أثناء جائحة «كوفيد-19». رأى الكثير من سكان المدن هذا المشهد، الذي كان تسبَّب فيه التكالُب على الشراء، المدفوع بحالة الهلع وتغير سلوك المستهلك. ويثبت جوميز وزملاؤه[1] أن بالإمكان زيادة قوة سلاسل إمداد الغذاء بدعم تنوعها.

نسبة معينة (تقع بين 3% إلى 15%).

بعد ذلك، مزج فريق الباحثين هذه البيانات بمؤشرات بسيطة تمثل الخصائص الجغرافية المتشابهة؛ مثل بعد المسافة الفعلية، وفرق الظروف المناخية بين المدن المختلفة، والمناطق الجغرافية التي تشملها شبكة الإمداد في كل مدينة. ومع توافر هذه المعلومات، استطاعوا اختبار افتراض مفاده أن المدن التي يظهر فيها تنوع أكبر في سلاسل الإمداد ستكون هي الأقدر على مواجهة الصدمات الغذائية، مقارنة بالمدن التي تفتقر إلى هذا التنوع. وبالفعل اكتشف الباحثون أن المدن التي تستورد أنواعًا من الغذاء تختلف عن الأنواع التي تُنتجها تكون أقل تعرضًا للصدمات الغذائية، مقارنةً بتلك التي يكون شركاؤها في سلاسل الإمداد أقل تنوعًا. ويرى العلماء أن فوائد سلاسل الإمداد تلك لا يمكن تحقيقها في وجود أنظمة غذاء محلية فقط.

أخذ الفريق بعين الاعتبار مبادئ تصميم مستقاة من علم الهندسة؛ إذ تُصَمَّم أنظمة البنية التحتية على نحوٍ يجعلها قادرةً على تحمل الصدمات، مثل الفيضانات الشديدة، التي نعرف مدى قوتها وتواترها. وقد أجرى المؤلفون بعض عمليات الاستقراء الجريئة، قدَّروا من خلالها حجم الصدمات الغذائية التي ستواجهها مدن أمريكية مختلفة في ظل التنوع الحالي الذي تشهده سلاسل إمدادها. واكتشفوا أن الصدمات النادرة، مثل تلك التي تحدث كل مئة عام، ستتسبب في نقص في الإمداد الغذائي عبر مدن مختلفة بنسبة تتراوح بين 22% و32% تقريبًا.

النتيجة الضمنية الأخرى التي جاء بها نموذج جوميز وزملائه هو أن وجود تنوع في سلاسل الإمداد – ولو كان محدودًا – سيلعب دورًا فعالًا في الحد من احتمالية حدوث صدمات عنيفة. وقد طبق المؤلفون التحليل الذي أجروه على الصدمات الغذائية التي تشمل العديد من القطاعات الغذائية في آن واحد. وتوصلوا إلى نتائج مماثلة لتلك الصادرة عن الصدمات التي تصيب قطاعًا واحدًا؛ إذ يحد التنوع في سلاسل الإمداد من عنف هذه الصدمات، ولو كانت نادرة الحدوث.

الجهد الذي قدمه فريق الباحثين سيكون له تأثير كبير على الطريقة التي ينبغي أن تُبنى على أساسها الأنظمة الغذائية التي تتحمل الصدمات القوية، ولكنه لا يخلو كذلك من بعض أوجه القصور. أولًا، استخدم المؤلفون بيانات أربعة أعوام فقط لكل مدينة، ما أثار تحديات عند تحديد توزيع تأثير الصدمات على كل مدينة. وهذه الفترة الزمنية المحدودة زادت من صعوبة تعيين الحد الأدنى لمستوى التنوع في الإمداد الغذائي؛ الذي يعتبر طبيعيًا عند المستهلكين والبائعين على حد سواء. كما أنها صعّبت من معرفة المدى الذي تستطيع خلاله سلاسل الإمداد المتنوعة أن تقلل من تأثير حالات نقص الغذاء في الظروف الطبيعية، مقارنة بالأعوام التي تشهد أحداثًا متطرفة؛ وما إذا كانت الفوائد النهائية كبيرة بما يكفي لتتسبب في تغيير سياسات توريد المواد الغذائية.

وأما الوجه الثاني من أوجه القصور في هذه الدراسة، فهو أن بيانات تدفق المواد الغذائية التي استخدمها جوميز وفريقه لا تمثل معدلات تدفق الغذاء الحقيقية لكل عام. ولكنها، عوضًا عن ذلك، تمثل ببساطة كميات الإنتاج السنوي موزَّعةً بالتناسب مع معدلات التدفق[5] المرصودة في عام 2012. لذا، فإن التحليل الذي قدمه المؤلفون لا يرصد إمكانية تغيير المسار، أو غيره من الاستجابات الاجتماعية، خلال فترات الظروف الطارئة، ولا يتَّسع لذلك من الأصل. وتتسبب الاستجابات الاجتماعية تلك، سواء تلك التي تحدث أثناء أعوام الصدمة أو بعدها، في تغيير معدلات تدفق الغذاء عبر شبكة الإمداد.

كما أنهم لم يتحققوا من قدرة النموذج الذي صمموه على التوقع لفترة تزيد على الأعوام الأربعة، أو خارج الولايات المتحدة. وربما يكون هذا أكثر ما يحُول دون تطبيق النتائج بصورة عملية؛ والسبب في ذلك يعود جزئيًا إلى أن درجة استقرار الإمداد الغذائي متغيرة في حد ذاتها، بل وسوف تواصل التغيُّر مع زيادة كميات السلع الغذائية المستهلكة وأنواعها، وكذلك مع تغير التقنية المستخدمة في عملية الإنتاج. وعلى الرغم من أن الظاهرة المرصودة والأنماط العامة يمكن أن تحدث في أعوام أخرى، أو مناطق جغرافية مغايرة، لا توجد بيانات أو تحليلات تؤكد إنْ كان التصميم المقترح من قبل مؤلفي الدراسة سيوفر حماية ضد الصدمات المستقبلية بالدرجة المزعومة.

إن تصميم أنظمة غذائية في المناطق الحضرية وفقًا للمعايير المطلوبة ليس في سهولة تصميم جسر أو سد، يُبنى ليبقى مئة عام. ويتمثل مصدر القلق الأساسي عالميًا، فيما يتعلق بمسائل نقص الغذاء في المناطق الحضرية والأمن الغذائي، في شعوب الدول ذات الدخل المتوسط والمنخفض، لا سيما تلك التي تعتمد على الواردات[6]. فمن الناحية النظرية، سيوفر التنوع في سلاسل الإمداد تأثيرًا داعمًا لهذه الشعوب عندما تبدأ أعداد سكان الحضر في التزايد الهائل خلال الأعوام المقبلة، خاصة في إفريقيا. ومع ذلك، فإن هذا النموذج لا يقدِّم وصفًا وافيًا. زد على ذلك أنَّ هذه الشعوب تملك خيارات وطاقات سياسية مختلفة فيما يتعلق بإنتاج سلاسل إمداد متنوعة، مقارنةً بتلك المتاحة في الولايات المتحدة الأمريكية. ورغم هذا، لنا أن نرى في دراسة جوميز وفريقه رسالة تذكير جاءت في وقتها؛ تذكير بأن إنشاء سلاسل إمداد متنوعة من شأنه أن يوفر آلية مهمة لحماية سكان الحضر من نقص الغذاء.

زيا مهرابي
باحث بمختبر ابتكار الاستدامة في كولورادو، وكذا ببرنامج الدراسات البيئية بجامعة كولورادو بولدر في مدينة بولدر بولاية كولورادو الأمريكية USA ,80303.
البريد الإلكتروني: ziamehrabi@gmail.com

1. United Nations Department of Economic and Social Affairs. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision* (United Nations, 2019).
2. Gomez, M., Mejia, A., Ruddell, B. L. & Rushforth, R. R. *Nature* **595**, 250–254 (2021).
3. Lloyd's. *Emerging Risk Report – 2015* (Lloyd's, 2015).
4. UK–US Taskforce on Extreme Weather and Global Food System Resilience. *Extreme Weather and Resilience of the Global Food System* (UK Global Food Security

ملخصات الأبحاث

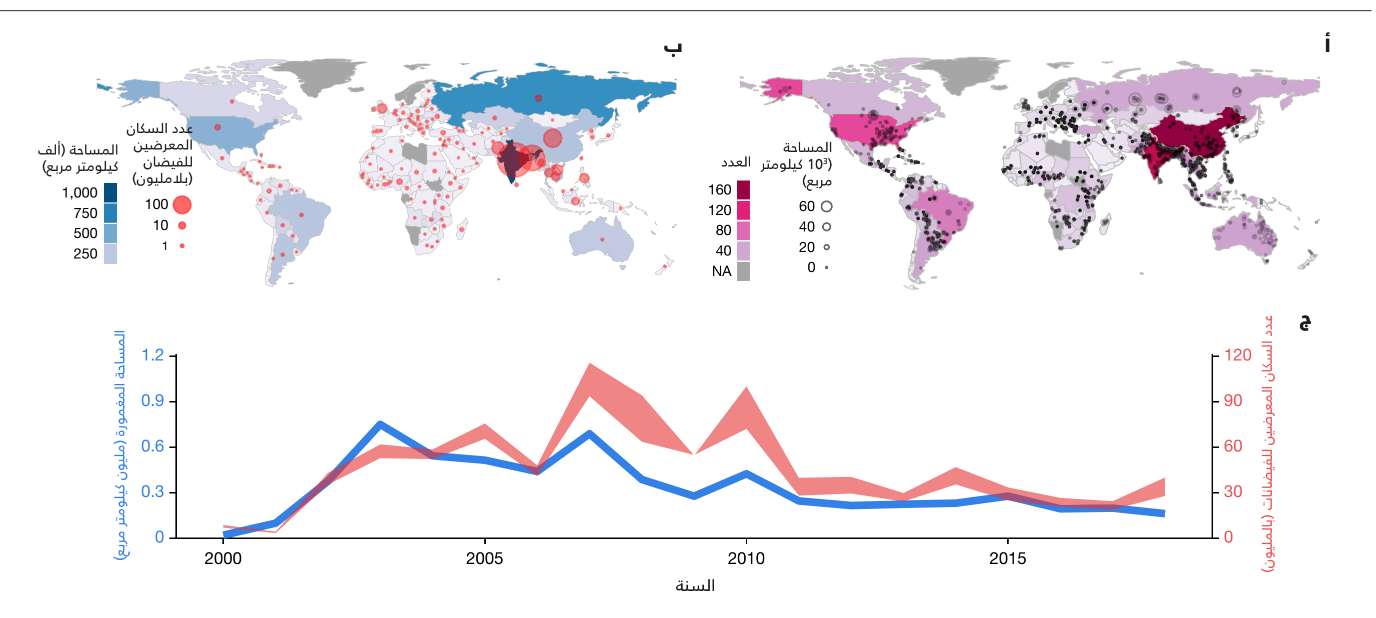
زيادة في نسبة السكان المعرَّضين للفيضانات

تُهدِّد الفيضانات قطاعاتٍ عريضة من البشر، يفوق عددهم أعداد المتضررين من أي خطر بيئي آخر، كما أنها تمثل عقبة في وجه جهود التنمية المستدامة. ولما كان الأمر كذلك، فإن الاستثمار في استراتيجيات التكيُّف مع الفيضانات قد يُقلص الخسائر التي تنجُم عن الفيضانات، سواءٌ أكانت خسائر في الأرواح أم الموارد الاقتصادية. غير أنَّ مواقع حدوث الفيضانات، والكيفية التي تحدث بها، وتحديد الأشخاص المعرَّضين لأخطارها - كلها عوامل خاضعة للتغير حسب سرعة الحركة العمرانية، ووجود بِنْية تحتية مخصصة لتخفيف آثار الفيضان، والتوسع في إقامة المستوطنات في السهول الفيضية. ويلاحَظ أن التقديرات السابقة لأعداد السكان المعرَّضين لخطر الفيضان على مستوى العالم لم تكن بالأعداد الكبيرة، وما ذلك إلا لنقص البيانات الرصدية؛ ما دفع القائمين على إعداد هذه الإحصاءات إلى الاعتماد على النماذج، عوضًا عن البيانات، وقد اتسمت هذه النماذج بمستويات عالية من عدم اليقين.

وفي هذا البحث المنشور، يستعين الباحثون بصور يومية، ملتقَطة عبر الأقمار الصناعية باستبانة مقدارها 250 مترًا، لتقدير المساحة التي اجتاحها 913 فيضانًا كبيرًا بين عامَي 2000 و2018، وعدد السكان الذين تعرَّضوا لهذه الفيضانات. قدَّر الباحثون أنَّ المساحة الإجمالية التي غُمِرَت بمياه الفيضانات خلال مدة الدراسة بلغت 2.23 مليون كيلومتر مربع، وأن عدد الذين وقع عليهم ضرر مباشر من جرَّاء الفيضانات تراوح بين 255 و290 مليون نسمة. ووفقًا لتقديرات الباحثين، ارتفع العدد الإجمالي للسكان الذين يقطنون الأماكن التي رُصِدَت فيها الفيضانات بمقدارٍ يتراوح بين 58 و86 مليونًا من عام 2000 إلى 2015. وهذا يُمثِّل زيادة تتراوح بين 20 و24% في نسبة سكان العالم المعرَّضين للفيضانات؛ أي أعلى بعشر مرات من التقديرات السابقة. وتُشير التوقعات المناخية لعام 2030 إلى أنَّ نسبة السكان المعرَّضين للفيضانات في سبيلها إلى الزيادة.

يرى الباحثون أن عمليات الرصد بواسطة الأقمار الصناعية، بما تمتاز به من استبانة مكانية وزمانية عالية، سوف تجعلهم أكثر دراية بالمناطق التي تشهد تغيُّرًا في النشاط الفيضاني بها، وأقرب إلى التعرُّف على أفضل طريقة للتكيف مع هذه الفيضانات. وكذلك فإن قاعدة بيانات الفيضانات العالمية، المُستمَدة من عمليات الرصد هذه، سوف تُسهِم في الخروج بتقديراتٍ أدقَّ لأعداد المعرَّضين للفيضانات، وتعزز دقة نماذج الفيضانات على المستويين المحلي والعالمي، فضلًا عن زيادة فاعلية الإجراءات المتخَذة من أجل تحقيق التكيُّف، وتحسين فهْم الباحثين للعلاقة بين تغيُّر الغطاء الأرضي، والمناخ، والفيضانات.

B. Tellman *et al*.
doi:10.1038/s41586-021-03695-w



الشكل أسفله | عرض موجز لإحصاءات قاعدة بيانات الفيضانات العالمية. أ) عدد الفيضانات في قاعدة البيانات العالمية لكل بلد (مقياس لوني)، إلى جانب موقع مركز كل فيضان، ومساحته (دوائر). البلدان التي لم تُجرَ فيها عمليات الرصد الفيضاني مظللة باللون الرمادي (غير متاحة). ب) إجمالي السكان المعرضين للفيضانات (عدد تراكمي على مدار الفترة الممتدة من عام 2000 إلى 2015) (دوائر)، والمساحة المعرَّضة (مقياس لوني) لكل بلد. ج) تقديرات عدد سكان العالم المعرضين للفيضانات سنويًّا (المحور الأيمن، المظلل باللون الأحمر) الحد الأعلى مُستمَد من مجموعة بيانات GHSL، والحد الأدنى مُستمَد من مجموعة بيانات HRSL. المساحة المغمورة بالفيضانات سنويًّا على مستوى العالم يمثلها المحور الأيسر (الخط الأزرق). الفيضانات الممثَّلة هي تلك التي تتوفر لها بيانات عالية الجودة، ويبلغ عددها خلال الإطار الزمني للدراسة 913 فيضانًا. يظهر عدد السكان المعرَّضين للفيضانات، وكذلك المساحة المعرَّضة للفيضانات، أقل في عامي 2000 و2001، قبل إطلاق قمر صناعي ثان، هو القمر «موديس أكوا» MODIS Aqua، معززًا إمكانية رسم خرائط للفيضانات. مصدر الخرائط الأساسية: قاعدة بيانات «ناتشرال إيرث» Natural Earth، أما الخريطة الموضوعية، فقد رُسِمَت بالاستعانة بحِزْمة اللغة البرمجية «آر» R.

أحافير قد تكون لإسفنجيات تعود إلى حقبة الطلائع الحديثة

على الرغم من أنَّ التاريخ الجزيئي لتطوُّر السلالات يشير إلى أنَّ المتزويات (الحيوانات) قد ظهرت في مرحلة مبكرة من حقبة الطلائع الحديثة، فثمة نقص في الأدلة المادية على ذلك، فضلًا عن أنَّ البحث عن أحافير حيوانية تعود إلى دهر الطلائع يعوقه عدم اليقين بشأن ماهية الخصائص الجسمانية التي يمكن تَوَقُّعها في هذه الحيوانات.

في ذلك السياق، تجدر الإشارة إلى أن الإسفنجيات تُعَد أبسط الأنواع الحيوانية المعروفة، ويُحتمل أنَّ أحافير أجسام الميتزوانيات الطلائعية غير المكتشَفة حتى الآن تشبه في بعض مظاهرها الإسفنجيات الأحفورية التي تعود إلى دهر البشائر (الحياة الظاهرة). وقد صار من المعروف الآن أنَّ البِنْية المجهرية دودية الشكل (وهي سمة معقدة في التركيب الصخري للشعاب المرجانية والكربونات الميكروبية التي تعود إلى عصر البشائر) تدل على أحفورة للإسفنجيات الشائعة المقرَّنة غير الشوكية.

ويقدم هذا البحث شرحًا لبِنى مجهرية دودية الشكل، ذات تركيب صخري مطابِق لتلك الإسفنجيات المقرنة. حصل عليها العلماء من شعاب مرجانية عمرها 890 مليون سنة تقريبًا. وتنتمي هذه البِنى المجهرية الدقيقة، التي يتراوح طولها من عدة مليِّمترات إلى عدة سنتيمترات، إلى

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

كائن عاش إمّا على الشعاب المرجانية، أو بداخلها، أو بجانبها مباشرة (تكوَّنت تلك الشعاب بفعل تكلس البكتيريا الزرقاء *Cyanobacteria*، وهي من الكائنات المعتمِدة على التمثيل الضوئي). كما استوطن هذا الكائن بيئات مجهرية ملائمة، لم تستطع هذه الميكروبات الكلسية العيش فيها.

وإذا صح أنّ هذه البِنْية المجهرية دودية الشكل تعود إلى نسيج متحجر من حيوان من الإسفنجيات المقرّنة، ستُعَد المادة الموصوفة في هذا البحث أقدم دليل أحفوري على حيوان اكتُشف حتى يومنا هذا. كما ستُعَد أول دليل مادي على أنَّ الحيوانات قد ظهرت قبل حدث "الأكسجة" في حقبة الطلائع الحديثة، وصمدت على قيد الحياة طوال الفترات الجليدية من العصر البارد.

E. Turner *et al*
doi:10.1038/s41586-021-03773-z

منسوجات ذات بنية متسقة وخصائص ميكانيكية قابلة للتعديل

تستمد المنسوجات ذات البِنى المنتظمة، مثل الأغطية المنسوجة ودروع الزرد، خصائصها من المواد المكوِّنة لها وبِنْية هذه المواد وشكلها. صحيح أنَّ تصميم هذه المنسوجات يمكن أن يستهدف إكسابها بعض الخصائص المنشودة، مثل المقاومة العالية للصدمات، أو ضبط الحرارة، أو التوصيل الكهربائي، لكنَّ هذه الخصائص تصبح عادة ثابتة حالما تتحقق.

وفي هذا البحث المنشور، يعرض الباحثون منسوجات ذات بِنى منتظمة، ومعامل انحناء قابل للتعديل، تتكون من جسيمات ثلاثية الأبعاد تنتظم في طبقات من سلاسل حلقات متداخلة كتلك التي توجد في دروع الزرد. وتتبع سلاسل الحلقات المتداخلة أنماطًا شكلية معقدة، لكنْ عند تعَرُّضها لضغط عند حدودها، تتشابك جسيماتها، وتنضغط متكدسة فيما بينها. ويوضح الباحثون أنَّ تعريض هذه البِنى لضغط خارجي ضئيل (حوالي 93 كيلو باسكال) يجعل الأغطية أكثر صلابة بما يزيد على 25 مرة منها في ترتيبها في حال الارتخاء. وتنشأ هذه الزيادة الهائلة في مقاومة الانحناء، لأنَّ الجسيمات المتشابكة لديها مقاومة شدٍّ عالية، على عكس مقاومة الشد الموجودة في الأوساط الحبيبية المفككة. ويستخدم الباحثون عمليات محاكاة قائمة على استخدام عناصر مختلفة لاكتشاف العلاقة بين البِنْية الميكروية لسلاسل حلقات الزرد وخصائص النطاقات العيانية منها، وتفسير ما يرصدونه من قياسات تجريبية.

ووجدوا أنَّ سلاسل الحلقات، التي تتكون من جسيمات حبيبية مختلفة غير محدبة، تخضع لتحوُّل طوري يكدِّسها، يُوصَف بدالة مميزة من دوال قانون الأسس، على نحو يشبه سلوك الأوساط المحدبة التقليدية. ويُتِيح هذا البحث سُبُلًا لتصميم منسوجات خفيفة قابلة للضبط والتكيف، يمكن استخدامها في الهياكل الخارجية القابلة للارتداء، والتصاميم المبنية على حاسة اللمس، والدعامات الطبية القابلة لإعادة التشكُّل.

Y. Wang *et al*.
doi:10.1038/s41586-021-03698-7

الاختيار يقع على بلدة لينجو الصينية لتكون موقعًا للرصد الفلكي

لا يوجد على وجه الأرض سوى قِلَّةٍ من مواقع الرصد الفلكي عالية الجودة، التي تُلبي متطلبات منشآت الرصد الحديثة العملاقة. وفي إطار السعي إلى اغتنام الفُرص العلمية التي تلُوح لدراسة التغيرات التي تطرأ على الأجرام الفلكية عبر الزمن، عثر الباحثون على موقع جيد على هضبة التبت، سوف يُسهم في سدّ الفجوة الطولية بين أفضل مواقع الرصد المعروفة (وكلها يقع في نصف الكرة الغربي). ولمَّا كانت هضبة التبت أعلى هضبة على كوكب الأرض، بمتوسط ارتفاع يتجاوز 4 آلاف متر، فمن الممكن أن تتيح هذه الهضبة فرصًا واعدة لدراسة الفلك، وفيزياء الجسيمات الفلكية.

وفي هذا البحث المنشور، يعرض الباحثون نتائج ثلاث سنوات من عمليات الرصد التي كان هدفها اختبار منطقة واقعة على قمة جبلية بجبل سايشتهان، الذي يقع بالقرب من بلدة لينجو في مقاطعة شنجهاي الصينية. وقد تراوح ارتفاع المواقع المحتملة بين 4200 و4500 متر، إلا أن الباحثين استقروا على منطقة تتجاوز مساحتها 100 ألف كيلومتر مربع، تحيط ببلدة لينجو. صحيحٌ أن هذه المنطقة أقلُّ ارتفاعًا (إذ يقلُّ عن 3 آلاف متر)، إلا أنها تمتاز بمناخ شديد الجفاف، وسماء محلية أصفى من المعتاد (ليلًا ونهارًا).

من إجمالي الليالي التي أُخِذَت فيها قياسات مختلفة في هذا الموقع، تبلغ نسبة الليالي التي تتوفَّر بها ظروف قياس ضوئي واضحة 70%، عند قيمة وسيطة من قيم الرؤية الفلكية تبلغ 0.75 ثانية قوسية. كما أن متوسط التبايُن في درجة الحرارة ليلًا لا يزيد على 2.4 درجة مئوية؛ ما يشير إلى أنَّ الهواء السطحي المحلي يتَّسم بدرجة عالية من الاستقرار. وفي 55% من الليالي، بلغ عمق بخار الماء القابل للتكاثُف في صورة أمطار أدنى من ملّيمترين.

L. Deng *et al*.
doi:10.1038/s41586-021-03711-z

الشكل أسفله | الرؤية الفلكية الليلية في موقع بلدة لينكو. جُمِعَت بيانات الرؤية الفلكية القائمة على شاشة رصد حركة الصور التفاضلية خلال الفترة الممتدة من أكتوبر 2018 إلى ديسمبر 2020. يظهر المدرَّج التكراري باللون الأحمر، بينما يظهر منحنى الاحتمال التراكمي باللون الأزرق. ويصل الخط الأسود المتصل بين قمم الأعمدة المكوِّنة للمدرج التكراري بتوزيع لوغاريتمي عادي.

العدد الإجمالي: 383,825
القيمة الوسيطة تقع عند: 0.75 ثانية قوسية
القيمة القصوى تقع عند: 0.68 ثانية قوسية
10%: <0.51 ثانية قوسية
25%: <0.61 ثانية قوسية
75%: <1.03 ثانية قوسية
95%: <1.46 ثانية قوسية
الاحتمال التراكمي
عدد القياسات ($\times 10^4$)
الرؤية الفلكية (بوحدة الثانية القوسية)

السلالة «دلتا» أقل تأثرًا بالأجسام المضادة المحيِّدة

منذ اكتشاف السلالة «B.1.617» من فيروس كورونا المُسبِّب للمتلازمة التنفسية الحادة الوخيمة من النوع الثاني، المعروف اختصارًا باسم فيروس «سارس-كوف-2» (SARS-CoV-2) في الهند في أكتوبر من عام 2020، أصبحت السلالة السائدة في بعض مناطق الهند والمملكة المتحدة، وانتشرت إلى العديد من الدول الأخرى. وتتضمن هذه السلالة ثلاثة أنواع فرعية رئيسة («B1.617.1»، و«B.1.617.2»، و«B.1.617.3»)، وهي تحوي طفرات متنوعة في نطاق النهاية الأمينية (NTD)، ونطاق الارتباط بالمستقبل (RBD) في البروتين الشوكي لفيروس «سارس-كوف-2». وهذه الطفرات قد تعزز إمكانية إفلات هذه السلالات من الجهاز المناعي. ويُعتقد أنَّ السلالة «B.1.617» – التي يُشار إليها أيضًا بمصطلح السلالة «دلتا» – تنتشر بوتيرة أسرع من غيرها من السلالات.

وفي هذا البحث المنشور، عزل الباحثون سلالة مسببة للعدوى من النوع «دلتا»، من شخص مُصاب بمرض «كوفيد-19»، عاد إلى فرنسا من الهند، ثم عمدوا إلى فحص تأثُّر السلالة بالأجسام المضادة أحادية النسيلة، وأيضًا الأجسام المضادة الموجودة في أمصال مأخوذة من أشخاص تعافوا من مرض «كوفيد-19» (يُشار إليهم فيما بعد في البحث باسم "الأشخاص المتعافين")، أو أشخاص حصلوا على أحد اللقاحات المضادة لمرض «كوفيد-19».

بعد ذلك، قارن العلماء هذه السلالة بالسلالات الأخرى من فيروس «سارس-كوف-2»؛ فوجدوا أنَّ السلالة «دلتا» كانت مقاومة للتحييد ببعض الأجسام أحادية النسيلة المضادة لنطاق النهاية الأمينية، ونطاق الارتباط بالمستقبل، بما في ذلك الجسم المضاد «باملانيفيماب» bamlanivima، فضلًا عن أنَّ هذه الأجسام المضادة أظهرت قصورًا في الارتباط بالبروتين الشوكي، بينما كانت الأمصال التي جُمعت من الأشخاص المتعافين حتى فترة تصل إلى 12 شهرًا بعد بداية ظهور الأعراض أقل فعالية ضد السلالة «دلتا» بأربعة أضعاف، مقارنة بها في حال السلالة «ألفا» (السلالة B.1.1.7). في حين كان للأمصال المأخوذة من أشخاص تلقَّوا جرعة واحدة من لقاح «فايزر» Pfizer، أو «أسترازينيكا» AstraZeneca تأثير مثبِّط، يمكن بالكاد ملاحظته ضد السلالة «دلتا». وأخيرًا، أسفر تلقِّي جرعتيّ اللقاح عن توليد استجابة مُحيِّدة لدى 95% من الأشخاص، بتركيز معاير للأجسام المضادة ضد السلالة «دلتا» أقل بثلاث إلى خمس مرات منه في حال السلالة «ألفا».

وهكذا، نجد أنَّ انتشار السلالة «دلتا» مرتبط بإفلاتها من الأجسام المضادة المستهدِفة للمُحددات المُستضدية في

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

نطاق الارتباط بالمستقبل، وفي غير نطاق الارتباط بالمستقبل في البروتين الشوكي للفيروس.

D. Planas *et al*.
doi:10.1038/s41586-021-03777-9

استخلاص جينوم إنسان من رفات بشرية في والاسيا

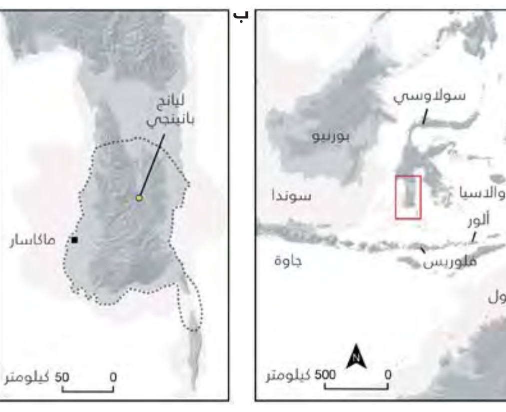
ثمة أمور كثيرة لا تزال مجهولة عن تاريخ الإنسان الحديث الأول، الذي استوطن منطقة جنوب شرق آسيا. ويرجع ذلك إلى أنَّ السجلات الأثرية نادرة ومتفرقة، إلى جانب أن المناخ الاستوائي ليس ملائمًا للحفاظ على سلامة الحمض النووي للإنسان القديم. ومن أجل هذا كلِّه، لم يتسنَّ تعيين تسلسل لجينوم بشريٍّ من هذه المنطقة، يعود إلى إنسان ما قبل العصر الحديث، سوى في حالتين اثنتين، كان الجينوم فيهما منخفض التغطية. وقد عُثر عليهما في موقعين للحضارة الهوابينهية لمجتمعات اشتغلت بالصيد وجمع الثمار، في البر الرئيس، أحدهما موقع «فا فاين»، الواقعة في لاوس (ويعود تاريخ الجينوم الذي عَثَر عليه العلماء في هذه المنطقة إلى 7939-7751 سنة معايَرة قبل الحاضر (اختصارًا: ق.ح)، على اعتبار أنَّ الحاضر يشير إلى عام 1950 ميلادية)، والثاني موقع «جوا تشا»، في ماليزيا (ويعود تاريخ الجينوم الذي عُثر عليه في هذا الموقع إلى 4400-4200 سنة معايَرة ق.ح).

وفي هذه الدراسة المنشورة، يعلن الباحثون استخلاص ما يُعتبر – على حد علمهم – أول جينوم للإنسان القديم من والاسيا، وهي منطقة الجُزر المحيطية الواقعة بين جرف سوندا (الذي يتكون من البر الرئيسي لجنوب شرق آسيا، والجُزر القارية الواقعة غربيّ إندونيسيا)، ومنطقة ساهول عصر البليستوسيني (وهي المنطقة التي تشمل الآن أستراليا وغينيا الجديدة). استخلص الباحثون الحمض النووي من العظْمة الصخرية لامرأة شابة تنتمي إلى مجتمع الصيد وجمع الثمار، دُفنت منذ 7300-7200 سنة معايَرة ق.ح، في كهف من الحجر جيري، يقع في منطقة ليانج بانينجي، الواقعة جنوبيّ سولاوسي بإندونيسيا.

لدى إخضاع العظْمة المذكورة للتحليل الجيني، تبيَّن أنَّ هذه المرأة، التي تنتمي إلى مجتمع الصيد وجمع الثمار، والتي خرجت للبحث عن الطعام، تعود إلى ما قبل العصر الحجري الحديث، وترتبط بمجتمع تقني من شعب «تولين» Toalean، تشارك معظم أوجه الانجراف الجيني والتشابه الشكلي (المورفولوجي) مع المجموعات السكانية الحالية في بابوا، والسكان الأصليين في أستراليا، إلا أنَّها تمثِّل سلالة بشرية مختلفة، لم تُعرَف من قبل، تشعّبت تقريبًا في نفس وقت الانقسام بين تلك المجموعات السكانية، أي قبل نحو 37 ألف سنة مضت.

اشتملَتْ دراسة الباحثين كذلك على توصيف للأصول الآسيوية العميقة لجينوم «ليانج بانينجي»، وأصوله التي تعود إلى إنسان «الدينيسوفان»، خلُصوا منه إلى حدوث نزوح واسع النطاق من المنطقة في العصر الحاضر.

S. Carlhoff *et al*.
doi:10.1038/s41586-021-03823-6





الشكل أعلاه | موقع الدراسة. أ) سولاوسي ووالاسيا: المستطيل الأحمر يشير إلى المنطقة الموضَّحة في الصورة (ب). ب) ليانج بانينجي: الخط المنقط يشير إلى توزيع الموقع الذي يعود إلى شعب «تولين».

بروتوكول مونتريال يحمي مصرف الكربون الأرضي

إن التحكم في إنتاج المواد المُستنفِدة للأوزون، الذي يعود الفضل فيها إلى بروتوكول مونتريال، يشير إلى أن الأوزون المتولد في طبقة الاستراتوسفير في طريقه إلى التعافي، وأنَّ بإمكاننا تفادي الزيادة في مستويات الأشعة فوق البنفسجية السطحية الضارة المترتبة على نقص الأوزون في هذه الطبقة. وإلى جانب ذلك، فإن لبروتوكول مونتريال منافع مزدوجة، تتعلق بالتخفيف من آثار التغير المناخي، إذ إنَّ المواد المُستنفِدة للأوزون هي في واقع الأمر غازات دفيئة شديدة الفاعلية. كما إنّ نجاحنا في تفادي آثار الأشعة البنفسجية والتغير المناخي يعود أيضًا بالنفع على النباتات، وقدرتها على تخزين الكربون من خلال عملية التمثيل الضوئي، وإنْ كانت هذه الفوائد المتوقعة لم تُدرَس بعناية من قبل.

يستكشف العلماء، في هذا البحث المنشور، المنافع المرتبطة بتفادي زيادة مستويات الأشعة فوق البنفسجية، وتخفيف آثار التغير المناخي، وأثرَ ذلك على المحيط الحيوي لكوكب الأرض، وقدرته على تصريف الكربون، مستعينين في ذلك بإطار عمل يستند إلى النمذجة، يقرن بين استنفاد الأوزون والتغير المناخي، وتضرر النباتات بفعل الأشعة فوق البنفسجية ودورة الكربون.

وبأَخْذ نطاق القوى المرتبط بتأثير الأشعة فوق البنفسجية على نمو النباتات في الاعتبار، يُقدِّر العلماء أن مخزون النباتات والتربة من الكربون كان يمكن أن يقل بمقدار 325 إلى 690 مليار طن بحلول نهاية القرن الحالي (2080 إلى 2099)، لولا تطبيق بروتوكول مونتريال (وذلك بالمقارنة بتوقعات المناخ بعد فرْض الضوابط على المواد المُستنفِدة للأوزون). وكان يمكن لهذا الفارق بدوره أن يؤدي إلى زيادة قدرها 115- 235 جزءًا في المليون من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، الذي ربما كان سيؤدي إلى ارتفاع متوسط درجة حرارة سطح الأرض بمقدار 0.50- 1.0 درجة أخرى. كذلك تشير النتائج التي توصل إليها العلماء إلى احتمالية أنْ تكُون لبروتوكول مونتريال يد في التخفيف من آثار التغير المناخي، وذلك من خلال تحاشي الانخفاض في مصارف الكربون الأرضية.

P. Young *et al*.
doi:10.1038/s41586-021-03737-3

الآليات البيولوجية المُتَحكِّمة في شيخوخة المبيض

يمثل طول العمر الإنجابي أمرًا ضروريًّا بالنسبة إلى الخصوبة، وهو يلعب دورًا مؤثرًا في بلوغ شيخوخة صحية لدى النساء، بيد أنّ ثمّة قصورًا في المعرفة المتاحة بشأن الآليات البيولوجية وراء طول العمر الإنجابي، وحول العلاجات الرامية إلى المحافظة عليه. ولذلك، سعى العلماء في هذا البحث المنشور إلى تعيين 290 سمة وراثية لشيخوخة المبيض لدى ما يقرب من 200 ألف امرأة تنحدر من أصول أوروبية. وقد أمكن تقييم هذه السمات الوراثية بالاستناد إلى التفاوت الطبيعي في العمر عند انقطاع الطمث طبيعيًّا.

وقد تبين ارتباط تلك الأليلات الجينية المشتركة بالمشاهدات الإكلينيكية المتفاوتة بشدة لانقطاع الطمث طبيعيًّا، ما بين انقطاع مبكر ومتأخر؛ فالنساء اللائي صُنِّفن من بين أعلى 1% من حيث القابلية الوراثية، كانت مخاطر الإصابة بقصور المبيض الأولي لديهن مكافِئة لمثيلاتها عند النساء اللائي يحملن تباديل أحادية لجين *Fmr1*.

ومِن ناحية أخرى، تشير مواقع الجينات كما حددها العلماء على الكروموسومات إلى مجموعة واسعة من عمليات استجابة الحمض النووي للتلف، لا سيما متغيرات فقْد الوظيفة في الجينات الرئيسة المرتبطة باستجابة الحمض النووي للتلف. كما يبيِّن التكامل مع النماذج التجريبية أنَّ عمليات استجابة الحمض النووي للتلف تعمل على تشكيل احتياطي المبيضين ومعدل نضوبهما مدى الحياة.

وبالإضافة إلى ذلك، يوضّح الباحثون أنَّ التحكم التجريبي في مسارات استجابة الحمض النووي للتلف، الذي يركز عليه علم الجينات البشرية، يزيد الخصوبة، ويطيل العمر الإنجابي لدى الفئران. وتشير تحليلات الاستدلال السببي، التي أُجريت باستخدام المتغيرات الجينية التي أمكن تحديدها، إلى أنَّ إطالة العمر الإنجابي لدى النساء يحسِّن صحة العظام، ويقلل مخاطر الإصابة بداء السكري من النوع الثاني، ولكنَّه في الوقت نفسه يزيد من خطورة الإصابة بأنواع السرطان الحساسة للهرمونات.

وهكذا، تفتح نتائج الباحثين آفاقًا معرفية جديدة بشأن الآليات المتحكمة في شيخوخة المبيض، وتوقيت عملها، وكيفية استهدافها بالأساليب العلاجية، بغرض إطالة فترة الخصوبة، والوقاية من الأمراض.

K. Ruth *et al*.
doi:10.1038/s41586-021-03779-7

التنبؤ بالبِنية البروتينية للبروتيوم البشري بدقة عالية

يمكن للبِنَى البروتينية أن تقدِّم معلومات قيّمة تُمكِّننا من استنتاج العمليات الحيوية، وتسمح لنا بإجراء تدخُّلات بعينها، من قبيل

تطوير العقاقير على أساس البِنية، أو التطفير المُستهدِف. وبعد عقود طويلة من الجهود المضنية، أمكن تغطية 17% فقط من إجمالي ما تبقَّى في تسلسلات البروتين البشري، من خلال تجارب تحديد بِنى البروتين.

وفي هذا البحث المنشور، يتوسع العلماء توسُّعًا ملحوظًا في نطاق التغطية البنيوية للبروتيوم، عن طريق تطبيق منهجية متطورة للتعلم الآلي، تُعرَف بمنهجية «ألفا فولد» AlphaFold، وذلك على نطاق يُغطي البروتيوم البشري بأكمله تقريبًا (98.5% من البروتينات البشرية)، بحيث تغطي مجموعة البيانات الناتجة 58% من البقايا، وتخرج بتنبؤات موثوقة؛ من بينها مجموعة فرعية (تشكل 36% من كل البقايا) تتمتع بدرجة فائقة من الثقة. وإضافةً إلى ذلك، استحدث العلماء عدة مقاييس (طوّروها بالاستفادة من نموذج «ألفا فولد»)، واستعانوا بها في تفسير مجموعة البيانات، والخروج بطائفة من التنبؤات المُحكَمة، متعددة النطاقات، إضافةً إلى المناطق التي يُرجَّح أن تكون مضطربة.

ضمَّن العلماءُ بحثَهم بعضَ دراسات الحالة، التي توضح كيف يمكن الاستعانة بالتنبؤات عالية الجودة في وضْع الفرضيات البيولوجية. وأعلنوا، في السياق نفسه، اعتزامهم إتاحة تنبؤاتهم بالمجان أمام مجتمع الباحثين، كاشفين عن توقعاتهم أنْ يتحول الاستخدام الروتيني لهذه التنبؤات البنيوية على نطاق واسع، وبدقة عالية، إلى أداةٍ مهمة تسمح بالتصدي للتساؤلات الجديدة من منظور بنيوي.

K. Tunyasuvunakool *et al*.
doi:10.1038/s41586-021-03828-1

ابتكار ساعة ذرية تعمل بتقنية الأيونات الحبيسة في الفضاء

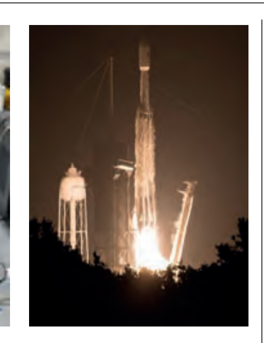
صحيحٌ أنَّ الساعات الذرية الفضائية التي ينخفض فيها مستوى عدم الاستقرار تُمثِّل تقنية نافعة في مجال الملاحة العالمية، إلا أنها لم تُطبَّق على الملاحة في الفضاء السحيق حتى الآن، ولا يوجد لها سوى تطبيقات محدودة في مجال الفيزياء الأساسية في الفضاء، وذلك بسبب القيود التي تفرضها قسوة ظروف التشغيل في الفضاء على أدائها.

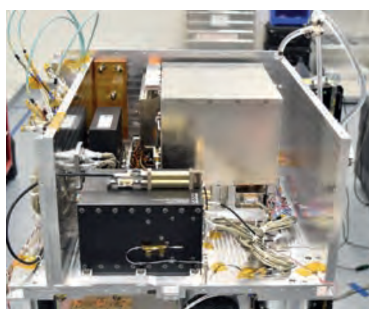
وقد أحدثَت بعض الطُرُق المتَّبعة في حبس الأيونات وتبريدها كهرومغناطيسيًّا ثورة في أداء الساعة الذرية. يُضاف ذلك إلى التحسُّن الذي طرأ على الساعات ذات الأيونات المحبوسة، المُستخدَمة على كوكب الأرض، وتعمل في المجال البصري. وقد بلغ هذا التحسُّن في الأداء أضعاف ما أحرزته التحسينات السابقة؛ ما جعل هذا التحسُّن عنصرًا أساسيًّا في برامج أبحاث مختبرات القياس الوطنية. ورغم ذلك، تعذَّر نقل هذه التقنية الجديدة إلى الفضاء.

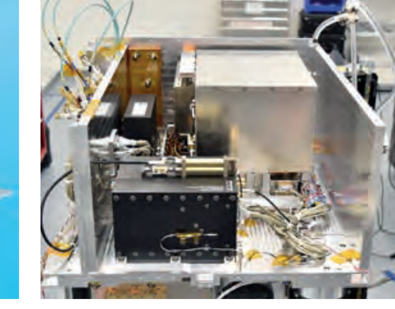
وفي هذا البحث المنشور، يعرض الباحثون نتائج ساعة ذرية ذات أيونات حبيسة تعمل في الفضاء. تتبع هذه الساعة - التي تُدعى "ديب سبيس أتوميك كلوك" Deep Space Atomic Clock، أو "الساعة الذرية المصمَّمة للفضاء السحيق" - وكالة ناسا. وقد لاحظ العلماء أنها عندما تعمل على الأرض، تُظهِر استقرارًا تردُّديًّا جزئيًّا قصير المدى، يبلغ $1.51 \times 10^{-13}/\tau^{1/2}$ (حيث τ هو الزمن الذي تُحسَب في أثنائه القيمة المتوسطة). وبعدما أُطلِقَت هذه الساعة في عام 2019، ظلت تعمل على مدار أكثر من 12 شهرًا في الفضاء، وأظهرت هناك استقرارًا طويل المدى، بلغ 3×10^{-15} في 23 يومًا (دون إزالة الانزياح)، وانزياحًا تقريبيًّا بلغ $3.0\ (0.7) \times 10^{-16}$ في اليوم الواحد.

تجدر الإشارة هنا إلى أنَّ كلًّا من هذه القيم تتجاوز أداء الساعة الفضائية الحالية بمقدار يصل إلى قيمة أُسية كاملة. كما أظهرَتْ هذه الساعة درجة عالية من التكيُّف مع بيئة الفضاء، بفضل حساسيتها المنخفضة لتغيرات الإشعاع، والحرارة، والمجالات المغناطيسية. وهذا المستوى من أداء الساعة الذرية يُتيح ملاحة ذات اتجاه إرسال واحد، تُقاس فيها أزمنة تأخُّر الإشارة في مكان الحدوث نفسه؛ ما يجعل إجراء ملاحة شِبه آنية لمسابير الفضاء السحيق ممكنًا.

E. Burt *et al*.
doi:10.1038/s41586-021-03571-7







الشكل أسفله | إطلاق ساعة "ديب سبيس أتوميك كلوك" إلى الفضاء. إلى اليسار: الساعة (credit: JPL). وفي المنتصف: المكونات الداخلية للساعة، ومنها جهاز استقبال يعمل بنظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، ومُذبذِب فائق الاستقرار (USO)، مُدمَج في حمولة المركبة الفضائية (credit: General Atomics). وإلى اليمين: إطلاق الصاروخ "سبيس-إكس فالكون هيفي إس تي 1" Space-X Falcon Heavy ST1 إلى الفضاء، وعلى متنه ساعة الفضاء السحيق (credit: NASA).

إنتاج بطاريات ليفية عالية الأداء من أيونات الليثيوم

تجتذب بطاريات أيونات الليثيوم اهتمام العلماء، باعتبارها حلًّا لتوفير الطاقة يتَّسم بالمرونة، بالنظر إلى أنها يُمكن أن تُنسَج لتكوين مواد ليفية (منسوجات)؛ ما يتيح وسيلة مواتيةً وسلسة لإمداد الأجهزة الإلكترونية القابلة للارتداء بالطاقة في المستقبل. ومع ذلك، فمن الصعب إنتاجها بأطوال تزيد على بضعة سنتيمترات، وكان يُعتقد أنَّ الألياف الأطول يتولَّد فيه مقدار أكبر من المقاومات الداخلية، تؤدي إلى إضعاف فاعلية الأداء الكهروكيميائي.

وفي هذا البحث المنشور، يوضح الباحثون أنَّ المقاومة الداخلية لمثل هذه الألياف ترتبط بطول الألياف عبر إحدى دوال ظل التمام الزائدية؛ حيث تقل المقاومة أولًا مع زيادة الطول، ثم تصل إلى قيمة ثابتة. وتؤكد دراسات منهجية أنَّ هذه النتيجة غير المتوقعة تنطبق على أنواع مختلفة من البطاريات الليفية. وأفاد الباحثون بتمكُّنهم من إنتاج بطاريات أيونات ليثيوم ليفية عالية الأداء، يبلغ طولها أمتارًا، بالاعتماد على عملية صناعية محسَّنة قابلة للتوسُّع. وتتسم تلك البطاريات الليفية (التي أنتج الباحثون كميات كبيرة منها) بكثافة طاقة مقدارها 85.69 واط/ ساعة لكل كيلوجرام (عادة ما تقلُّ القيم النموذجية عن 1 واط/ ساعة لكل كيلوجرام)، تبعًا للوزن الكلي لبطارية من أكسيد ليثيوم الكوبالت/ الجرافيت، شاملًا التغليف. وتصل قدرتها على الاحتفاظ بالسعة التخزينية إلى 90.5% بعد 500 دورة شحن وتفريغ، و93% عند معدل زمني للتفريغ يبلغ 1C، أي يستغرق تفريغ شحن البطارية بالكامل ساعة واحدة (مقارنة بسعةٍ تقدَّر بمعدل تفريغ زمني مقداره 0.1C، أي يستغرق التفريغ 10 ساعات)، وهي قيمة مقاربة لقيم البطاريات التجارية، مثل خلايا الطاقة الكيسية. ويُمكن الحفاظ على أكثر من 80% من السعة بعد ثني الليفة 100 ألف دورة.

وقد أوضح الباحثون أنَّ بطاريات أيونات الليثيوم – التي تُنسَج لتكون موادَّ ليفية (منسوجات) – آمنة، وقابلة للغَسْل بواسطة نول صناعي يحوي حاملات تُشبه النِّصال الحادة، يُمكن أن تشحن هاتفًا محمولًا شحنًا لاسلكيًّا، أو توفر الطاقة لاسلكيًّا لسُترة من سترات متابعة الحالة الصحية، مثبَّت بها أجهزة استشعار ليفية، وشاشة عرض منسوجة.

J. He *et al*.
doi:10.1038/s41586-021-03772-0

تحليل طيفي يثبت إمكانية تحضير محلول مائي فلزي ذهبي اللون

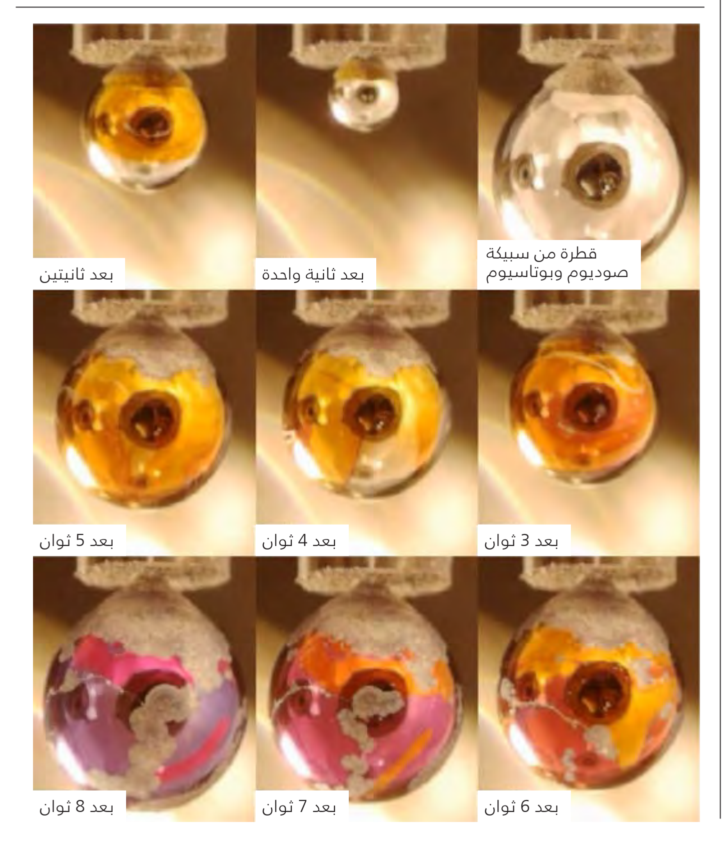
يمكن، من حيث المبدأ، تحويل المواد العازلة إلى مواد فلزية، إذا تعرضت لبعض الضغط. وعلى سبيل المثال، في حال تطبيق هذه العملية على ماء نقي، يتطلب هذا ضغطًا يُقدَّر بحوالي 48 ميجا بار، ولكن هذا المقدار يفوق مقدار الضغط الذي يمكن توليده في ظل إمكانات التجارب المتاحة حاليًّا، بل قد لا يتحقق إلَّا في باطن الكواكب الكبيرة، أو النجوم. وفي الواقع، تُشير تقديرات وتجارب حديثة إلى أن الماء عند تعريضه لأكبر قدر يمكن توليده معمليًّا من الضغط يصبح في أفضل الأحوال فائق التأيُّن، وتكتسب بروتوناته قدرة توصيل عالية، لكنه لا يصبح فلزيًّا وذا إلكترونات موصِّلة.

وفي هذا البحث المنشور، يوضِّح الباحثون إمكانية تحضير محلول مائي فلزي بإضافة كم هائل من الإلكترونات إلى طبقة مائية مُتفاعِلة مع فلزات قلوية. وبالرغم من أن هناك محاليل فلزية مُشابِهة من الأمونيا السائلة ذات تركيزات عالية من الإلكترونات المُتداوَلة التي عرِفها العلماء، وشرحوا خصائصها منذ وقت طويل، فإن التفاعل المسبب لانفجار بين الفلزات القلوية والماء لم

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

يسمح حتى الآن إلا بتحضير محاليل مائية ذات تركيزات منخفضة من إلكترونات شبه فلزية. ووجد الباحثون أنَّ الطبيعة المسببة لانفجار بسبب تفاعل الماء مع الفلزات القلوية يمكن إخمادها بامتزاز بخار الماء عند ضغط منخفض يبلغ تقريبًا 4-10 مللي بار على سطح قطرات سبيكة صوديوم وبوتاسيوم سائلة تُقذف داخل حجرة مُفرَّغة من الهواء. ويؤدي هذا النظام إلى تكوين طبقة ذهبية اللون سريعة الزوال من محلول مائي فلزي تغطي قطرات السبيكة المعدنية. وقد تأكد الباحثون من الطابع الفلزي لهذه الطبقة، المُطعَّمة بحوالي 5×10^{21} إلكترون في كل سنتيمتر مكعب، باستخدام الانعكاس البصري، والتحليلات الطيفية للإلكترونات الضوئية بأشعة سينية صادرة من سنكروتون.

P. Mason *et al*.
doi:10.1038/s41586-021-03646-5



الشكل إلى اليسار | قطرة نقية من سبيكة صوديوم وبوتاسيوم في حجرة مفرغة من الهواء، والتطور الزمني لقطرة من سبيكة صوديوم وبوتاسيوم مُعرَّضة لبخار الماء. يوضح الشكل أعلى اليسار قطرة جديدة نقية من سبيكة صوديوم وبوتاسيوم مقذوفة من أنبوب شعري مصنوع من الكوارتز إلى داخل حجرة مُفرَّغة من الهواء، ولا تحوي بخار الماء. وتخلو هذه القطرة الفضية، التي يبلغ أقصى قطر لها حوالي 5 ملِّيمترات، من أي لون مميز. وتُظهِر سلسلة الصور التالية تطوُّرًا زمنيًّا رُصِد كل ثانية لقطرة سبيكة صوديوم وبوتاسيوم قُذفت إلى داخل الحجرة المُفرَّغة في ظل وجود بخار ماء يبلغ ضغطه حوالي 4-10 مللي بار. وتُوضِّح هذه اللقطات السريعة التكوُّن المبكر لطبقة ذهبية اللون من محلول مائي فلزي، وتحوُّل لونها في غضون عدة ثوان إلى اللون البرونزي (بسبب امتزاز المزيد من الماء)، ثم إلى اللون الأزرق، إلى أن تفقد بريقها الفلزي في النهاية بالتزامن مع ظهور بُقع بيضاء من الهيدروكسيد القلوي بها.

أثر الوجبات الخفيفة الغنية بالألياف على البشر والفئران

إن تغيّر التفضيلات الغذائية المرتبط بانتشار نمط الحياة الغربية، بما له من آثار صحية ضارة، إلى جانب عدد لا يُحصى من العوامل التي تسهم في زيادة وطأة انعدام الأمن الغذائي، هو ما يحفِّز الجهود الرامية إلى تحديد مزيد من الأغذية التي تحمل قيمة غذائية عالية بأسعار معقولة.

وفي هذا السياق تجدر الإشارة إلى أن استهلاك الألياف الغذائية قد يساعد في الوقاية من أمراض القلب والأوعية الدموية، ومرض السكري من النوع الثاني، والسمنة المفرطة. وقد استعرض عدد كبير من التقارير البحثية آثار هذه الألياف على المجتمعات الميكروبية في الأمعاء. ورغم ذلك، تتسم الميكروبيومات بالتعقيد، وبأنها دائمة التغيُّر، فضلًا عن أنها تُظهِر تباينًا بدرجة كبيرة في تكوينها، ووظائفها فيما بين الأشخاص، بل وداخل الشخص نفسه. وهذا العدد الضخم من التفاعلات المحتملة بين مكونات الميكروبيوم يجعل من الصعب تحديد الآليات التي تؤثر بها مكونات الطعام على خصائص هذا المجتمع الميكروبي.

ويتناول العلماء في هذا البحث المنشور كيف يمكن تصميم أغذية تحتوي على مكوّنات مختلفة من الألياف، بحيث تُبدِّل الوظائف المرتبطة بمكونات معينة في الميكروبيوم. ولمَّا كانت الزيادة الملحوظة في استهلاك الوجبات الخفيفة مرتبطةً بانتشار نمط الحياة الغربي، أعدّ الباحثون نماذج أولية لوجبات خفيفة تقوم على ألياف نباتية من مصادر مستدامة مختلفة، تستهدف التأثير في السمات المميِّزة لميكروبيوم الأمعاء لدى الأفراد المصابين بالسمنة المفرطة، عند زرعها لدى فئران ذات معايشات ميكروبية معروفة. واستخدم الباحثون هذه الوجبات الخفيفة كمكمل لأنظمة غذائية محددة، استهلكها أفراد بالغون مصابون بالسمنة المفرطة، أو البدانة. وقد أسفر ذلك عن حدوث تغييرات في الميكروبيوم لدى أولئك الأشخاص، وهي تغيرات ارتبطت بوجود الألياف، وعُزيت إلى تغيّرات أخرى في بروتيومات البلازما عند أولئك الأشخاص، وهو ما يشير إلى حدوث تبّدل في حالتهم الفسيولوجية.

O. Delannoy-Bruno *et al*.
doi:10.1038/s41586-021-03671-4

الأجسام المحيّدة لفيروس كورونا بعد عام من العدوى

مرّ أكثر من عامٍ على ظهور جائحة مرض "كوفيد-19"، الذي يسببه فيروس كورونا المُسبِّب للمتلازمة التنفسية الحادة الوخيمة من النوع الثاني، والذي يُشار إليه اختصارًا بفيروس "سارس-كوف-2". ولا تزال الجائحة عصية على السيطرة عليها، حتى في ظل توفُّر عدة لقاحات فعالة ضد الفيروس، إذ يتسم التقدّم المحرَز في السيطرة على الجائحة بالبطء، بسبب ظهور سلالات من الفيروس، يبدو أنها أقدر على الانتشار، وأكثر مقاومةً للأجسام المضادة.

وفي هذا البحث المنشور، يُفيد الباحثون بإجرائهم دراسة لمجموعة أتراب تتألّف من 63 شخصًا تعافوا من مرض "كوفيد-19"، وخضعوا لفحوص بعد مرور 1.3 شهر، و6.2 شهر، و12 شهرًا من إصابتهم بفيروس "سارس-كوف-2"، وحصل 41% منهم على لقاحات قائمة على الحمض النووي الريبي المرسال (mRNA) ضد الفيروس.

وجدير بالذكر أنه في حال الأشخاص الذين لم يتلقوا اللقاحات في الدراسة المذكورة، احتفظت الأجسام المضادة لديهم بقدرتها على الاستجابة لنطاق الارتباط بالمستقبِل (RBD) الخاص بالفيروس، كما ظل نشاط تحييد الفيروس الخاص بخلايا الذاكرة البائية المستهدِفة لنطاق الارتباط بالمستقبِل وعدد هذه الخلايا ثابتَين نسبيًّا، وذلك في الفترة ما بين 6 أشهر، و12 شهرًا من الإصابة. ووُجِد أنَّ اللقاحات ترفع مستويات جميع مكونات الاستجابة الخلطية، وتسفر – كما هو متوقع - عن نشاط مُحيِّد للسلالات المثيرة للمخاوف في مصل الدم، يكافئ مستوى النشاط المُحيِّد للسلالة الأصلية "ووهان هو-1" Wuhan Hu-1، الذي يحققه تطعيم الأفراد الذين لم يتعرضوا سابقًا للإصابة بالفيروس، أو يربو عليه.

ويُذكر أنَّ الآلية الكامنة وراء هذه الاستجابات واسعة النطاق تسهم فيها طفرات جسدية تحدث باستمرار في الأجسام المضادة للمرضى، وأيضًا عملية تجديد لنسل خلايا الذاكرة البائية، ونشوء أجسام مضادة أحادية النسيلة مقاومةٍ بدرجة استثنائية لطفرات نطاق الارتباط بالمستقبِل في فيروس "سارس-كوف-2"، بما في ذلك الطفرات الموجودة في السلالات المثيرة للمخاوف. وبالإضافة إلى ذلك، وبمرور الوقت، وعبر عملية انتخاب، يجري الاحتفاظ بنسائل الخلايا البائية، التي تعبّر عن نطاق واسع من الأجسام المضادة شديدة الفعالية، في المخزون المناعي، وتكثر نسائل هذه الخلايا بدرجة ملحوظة بعد التطعيم.

وتشير هذه البيانات إلى أنَّ المناعة لدى الأفراد المتعافين من العدوى ستدوم لفترة بالغة الطول، وأنَّه عند حصول الأفراد المتعافين على أحد اللقاحات المتاحة القائمة على الحمض النووي الريبي المرسال، ستتكون لديهم أجسام مضادة وخلايا ذاكرة بائية، يُفترض أن تمنحهم وقاية ضد السلالات المنتشرة من فيروس "سارس-كوف-2".

Z. Wang *et al*.
doi:10.1038/s41586-021-03696-9

RESEARCH DATA SERVICES FOR INSTITUTIONS



Help your researchers organise, share and get credit for their data.

Three services:

- **Research data training.** Hosted at your institution and delivered by our expert research data trainers
- **Research Data Support.** Your researchers submit a dataset, our research data experts create a detailed data record in a repository
- **Data availability reporting.** Track how your researchers are sharing data associated with articles in Springer Nature journals

partnerships.nature.com/research-data

مهن علمية



GETTY

إذا أردتَ أن تضمن قدر الإمكان الحصول على منحة بحثية، فعليك أن تتناول مسألتي الدقة العلمية وقابلية نتائج تجاربك للتكرار ضمن مُقتَرَحك البحثي.

ثلاثة أسئلة تساعدك على تصميم مقترَح بحثي محكم

استعدادك لمناقشة نقاط الضعف وأوجه القصور التي يمكن أن تشوب عملك البحثي، يدفع مموليه المحتملين إلى الثقة بك. **جينيفر إل. ويلسون، وكريستال إم. بوثام**

تشترط معاهد الصحة الوطنية الأمريكية (NIH)، منذ عام 2018، أن يوضح أي مُقترَح بحثي يُقدم إليها منهجيته لتحقيق الدقة العلمية. والمُراد من ذلك هو معرفة الأساليب التي ينوي الباحثون اتباعها، لضمان دقة البيانات، والحدّ من التحيز، وإثراء العِلم بأقصى قدر ممكن من الإسهامات المعرفية الجديدة. وقد وضعت مَعاهِد الصحة الوطنية سياستها تلك ضمن جهودها للتصدي للتحديات البحثية المرتبطة بمبدأي الشفافية العلمية، وقابلية نتائج التجارب للتكرار. وفي هذا السياق، أعربت جهات تمويل أبحاث أخرى عن نيتها الالتزام بتبني سياسات طويلة الأمد، تهدف إلى الارتقاء بجودة الممارسات البحثية في مجال العلوم. ومن أمثلة ذلك، خطوة أقدَمَت عليها الإدارة العامة للبحث والابتكار التابعة للمفوضية الأوروبية، وهي الهيئة المسؤولة عن سياسة البحث والابتكار في الاتحاد الأوروبي، وذلك بأن أصدرت في عام 2020 مجموعة توجيهات تهدف إلى تحسين معدلات الحصول على نتائج تجارب بحثية قابلة للتكرار. وتجدر الإشارة هنا إلى أن التعقيد ليس شرطًا لصوغ المقاربة التي اختارها الباحث بهدف إجراء بحث محكم. وبوصفنا عضوتين في أكاديمية التدريب على كتابة طلبات المِنَح، التابعة لجامعة ستانفورد بولاية كاليفورنيا الأمريكية، نتعاون عن كثب مع علماء أمعنوا بالفعل التفكير في مدى جودة ما يتبنونه من ممارسات بحثية، ويملكون رغبة في مناقشة مسألة الدقة العلمية ضمن طلبات المِنَح التي يقدمونها إلى الهيئات المختصة. ومن هذا المنطلق، تُركز خطتنا التدريبية على طرح أسئلة بسيطة، تساعد هؤلاء العلماء على تقديم شرح وافٍ لما ينوون اتخاذه من إجراءات تضمن تحقيق الدقة العلمية في طلب المنح البحثية.

على سبيل المثال، تضمَّن أحد المُقترحات البحثية التي راجعناها مؤخرًا جملة تقول: "في هذه الدراسة، نعتزم استخدام نموذج دراسة قائم على فئران تتم إصابتها بالسكتة الدماغية، وتتلقى جرعة علاجية يومية من مُركَّبنا الجديد لمدة ثلاثة أسابيع".

ونظرًا إلى أننا اختصاصيو تدريب على كتابة المنح، ولا نملك خلفية متخصصة تسمح لنا بمعرفة الفكرة من وراء نموذج الدراسة المقترح، فقد أمطَرْنا الكاتب بوابل من الأسئلة، أردنا من خلالها معرفة المزيد من التفاصيل، من قبيل: "لماذا تستخدم نموذج الفئران هذا بالتحديد؟"، و"ما السبب في أن الجرعة المعطاة للفئران يومية؟". وتَبيَّن بعد ذلك أن استخدام هذا النموذج من الفئران، وهذا النظام لتلقي الجرعات، هما من بين الإجراءات المعتادة التي يعتمدها المُختبَر الذي تُجرى فيه الدراسة، فضلًا عن أن المُختبَر نفسه قد نَشَر دراسة أظهرت أهمية استخدام هذا النموذج من الفئران لتتبُّع آثار السكتة الدماغية التي يهتم المُختبَر بدراستها.

ومن ثم، حث فريقنا الكاتبَ على أن يكون أكثر تحديدًا فيما يكتبه، وأن يوضح دور المقاربة البحثية التي ينوي تطبيقها في الحدّ من التحيزات التي قد تنتج عن اختياره للفئران كنموذج أحيائي. وقد عدَّل الكاتب الجملة لتصبح كالآتي: "نعتزم استخدام فئران تتم إصابتها بالسكتة الدماغية كنموذج دراسة، بهدف اختبار تأثير مُركَّبات علاجية جديدة، وهو نموذج دراسة، أثبتنا نحن وفرق بحثية أخرى أهميته لفهم آثار السكتة الدماغية [وهنا تُضاف المراجع]».

وهذه الجملة تحقق نجاحًا أكبر من سابقتها في توصيل الرسالة، لأنها تبيِّن بوضوح أن اختيارات واضع الدراسة للتجربة هي الأنسب للإجابة عن الأسئلة البحثية التي يهتم بالبحث فيها، كما تُظهر أن هذه الخيارات البحثية



وضعت جينيفر إل. ويلسون، وكريستال إم. بوثام إطارًا لصياغة المُقترَحات البحثية التي يتقدم أصحابها بطلبات للحصول على مِنَح.

JENNIFER BROPHY

ستساعده في التوصُّل إلى معلومات جديدة عن هذه الحالة المرضية.

وقد وضعنا إطارًا لصياغة المُقترَحات البحثية، يتألف من ثلاثة أسئلة، ويهدف إلى مساعدة العلماء على صوغ خياراتهم البحثية بصورة أفضل؛ إذ نوجه كاتبي المقترحات البحثية ضمن خطتنا التدريبية إلى شرح خياراتهم التجريبية، من خلال مواجهة أنفسهم بأسئلة تصطدم مباشرة مع أوجه القصور في مُقترَحاتهم البحثية. وهذه الأسئلة هي:

1. ما أهم نقاط الضعف أو أوجه القصور التي تشوب بحثك العلمي؟ ينطلق هذا السؤال من حقيقة أنه ما من منهجية علمية تخلو من أوجه القصور، وغالبًا ما تكون أوجه القصور هذه مرتبطة بطريقة البحث العلمي، أو

"يوفر هذا الإطار الذي وضعناه طريقة من بين عدة طرق لتحديد أولويات عملية البحث العلمي، ومعالجة ما قد يشوبها من أوجه قصور تَحُول دون تكرار نتائج البحث العلمي".

بمُعضِلة في مجال الدراسة دون غيره من التخصصات.

2. ما المنهجيات العلمية التي تنوي تطبيقها، إنْ لم تكن قد بدأت تطبيقها بالفعل، لمعالجة أوجه القصور تلك؟ ومن المحتمل أن تكون هذه المنهجيات طرق قياسية لدى مجموعة البحث التي تعمل ضمنها، لكن من المهم أن توضح ذلك لمُراجع المقترح البحثي.

3. ما الذي يجعل هذه الطرق مُلائِمة لدراستك؟ وهنا عليك أن تعلل لخياراتك، مؤكدًا على أن الباحثين في مجالك قد اختبروا مدى فعالية تطبيق تلك الطرق، أو اعتمدوا تطبيقها بالفعل، كوسيلة للتغلب على أوجه القصور التي سبق توضيحها.

وبالعودة إلى مثال المقترَح البحثي الذي يطرح استخدام الفئران كنموذج دراسة، نلاحظ أن أحد أوجه القصور في منهجية البحث العلمي المقترحة يرتبط بما إذا كان اختبار هذه المركبات على نموذج من فئران تتم إصابتها بالسكتة الدماغية يحاكي تطور السكتة الدماغية عند البشر بما يكفي، أم لا (وهذه الفكرة ترتبط بالسؤال الأول). إلا أن استخدام نموذج الفئران المقترَح يعالج هذا القصور (وهنا تكمن الإجابة عن السؤال الثاني). وفضلًا عن ذلك، فإن إشارة المؤلف في مصادره إلى أبحاث سابقة خضعت لمراجعة الأقران، يبرر اختياره للنموذج (وهكذا يجيب الكاتب عن السؤال الثالث). من ثم، فإن النسخة النهائية التي تَوَلَّينا مراجعتها من المقترح البحثي توضح صلة النموذج الحيواني بالمنهجية البحثية المقترحة، وتورد ضمن مصادرها بيانات منشورة تدعم هذه الفكرة.

خلال مشوارنا في مجال التدريب على كتابة طلبات المِنَح، وجدنا أن مناقشة الدقة العلمية في المقترح البحثي غالبًا ما تتطلب صياغات دقيقة ومحددة. على سبيل المثال، ننصح كاتب المقترح البحثي بأن يحذف جملًا على غرار: "نعتزم استخدام مقاربتنا الجديدة في التنبؤ بآثار الدواء"، وأن يعيد كتابتها بصيغة أدق يقول فيها بدلًا من ذلك: "نعتزم قياس تأثير مقاربتنا المستحدثة، مسترشدين بمجموعة بيانات تاريخية مرجعية مُتعارَف عليها في المجال البحثي، من خلال مقارنة آثار الدواء بتلك المعروفة سابقًا، قبل أن نبدأ توقُّع آثاره الجديدة". فتطبيق منهج بحثي جديد يمكن أن يُفضي إلى نتائج يشوبها التحيز، ولكن تقييم هذا المنهج البحثي، قياسًا على مجموعة يُعتد بها من البيانات عن الآثار الدوائية المعروفة، يبرهن على ملاءمة هذا المنهج البحثي لفَهْم الآثار الدوائية الجديدة.

على سبيل المثال أيضًا، نجد أن جملة مثل: "نعتزم تقييم آثار العلاج من خلال المقارنة بين سرعة التئام جرحين، أحدهما خضع للعلاج في القدم اليمنى، والآخر لم يخضع للعلاج نفسه في القدم اليسرى" في حاجة إلى أن تسبقها جملة تمهيدية تقول: "أثبتنا في دراسة سابقة أن معدلات سرعة التئام الجروح تختلف بين حيوان وآخر، وهو ما يجعل من الصعب المقارنة بينها [وهنا تُضاف المراجع]. ولذا، سنُحدِث جرحين لدى الحيوان نفسه، ونستخدم العلاج على جرح واحد فقط من بينهما". وهذا الشرح بهذه الصيغة يساعد المُراجِع في تقدير

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

مـدى براعـة الكاتب فـي تقييم أثر العـلاج، دون الوقوع في خطأ ظهـور تحيز فـي النتائج على خلفية التباين في سـرعة التئـام الجروح لـدى الحيوانـات المختلفة.

وتجـدر الإشـارة هنـا إلـى أن مناقشـة الدقـة العلمية في المقترحـات البحثيـة غالبًـا مـا لا تتعلـق بأسـباب العـدول عـن خيـارات علميـة محـددة، أو عـن تصميـم عـام بعينـه للمشـروع البحثي بقدر ما تتعلق بشـرح الـدور الذي تلعبه الخيـارات التـي عمد إليهـا الباحث في التصميـم التجريبي للدراسـة مـن أجـل معالجـة أوجه القصـور التـي يمكن أن تمنـع الباحـث مـن الإجابـة عـن سـؤاله، أو تَحـدّ مـن كَـمّ المعلومـات التي يسـتطيع أن يسـتمدها مـن تجربته.

إن شـرح أسـباب الخيارات العلمية يتطلب من الباحث الحـرص علـى التـدرب علـى كتابـة مقترحـه البحثـي، كـي تتحقـق عنـده قـوة التعبيـر، والقـدرة علـى الإقنـاع. وعلى طالـب المنحـة أن يكون مدركًا لأوجه القصور التي تشـوب دراسـته مـن الناحيـة العمليـة، وألا يتخـوف مـن الإفصـاح عنهـا. ففـي المثـال الـذي ورد آنفًـا فـي المقـال، كان قـرار اختيـار الفئـران كنمـوذج دراسـة قـرارًا يؤكـد تحـري الباحث للدقـة العلميـة، إلا أن شـخصًا غيـر مطَّلـع علـى الأبحـاث الصـادرة عـن ذلـك المختبـر، مثـل مُراجِـع طلـب المنحـة، قـد لا يفهـم الحكمة مـن قرار كاتب الطلـب، ما لم يحرص الأخيـر علـى شـرح أسـبابه بدقة. وفي حال نمذجة السـكتة الدماغيـة، فـإن اختيـار الفئـران كنموذج للدراسـة هـو قرار مُوفَّـق، يعـزز جـودة العمليـة البحثيـة، ولكـن قـد يكـون كاتـب المقتـرح البحثـي – كمـا فـي هـذا المثـال – قد سـلم بأنـه كذلـك، لأن جميـع مَـن يشـاركونه العمـل فـي مختبره يسـتخدمون هـذا النمـوذج. ومـن هنا، كان توضيح السـبب وراء قـرار المُختبَـر اسـتخدام ذلـك النمـوذج فـي دراسـة السـكتة الدماغيـة عنصـرًا قـد يسـاعد الباحـث فـي شـرح خياراتـه بصـورة أفضـل لمراجـع مِنح ليس علـى دراية كاملة بأفضـل الممارسـات مـن منظـور ذلـك المختبر.

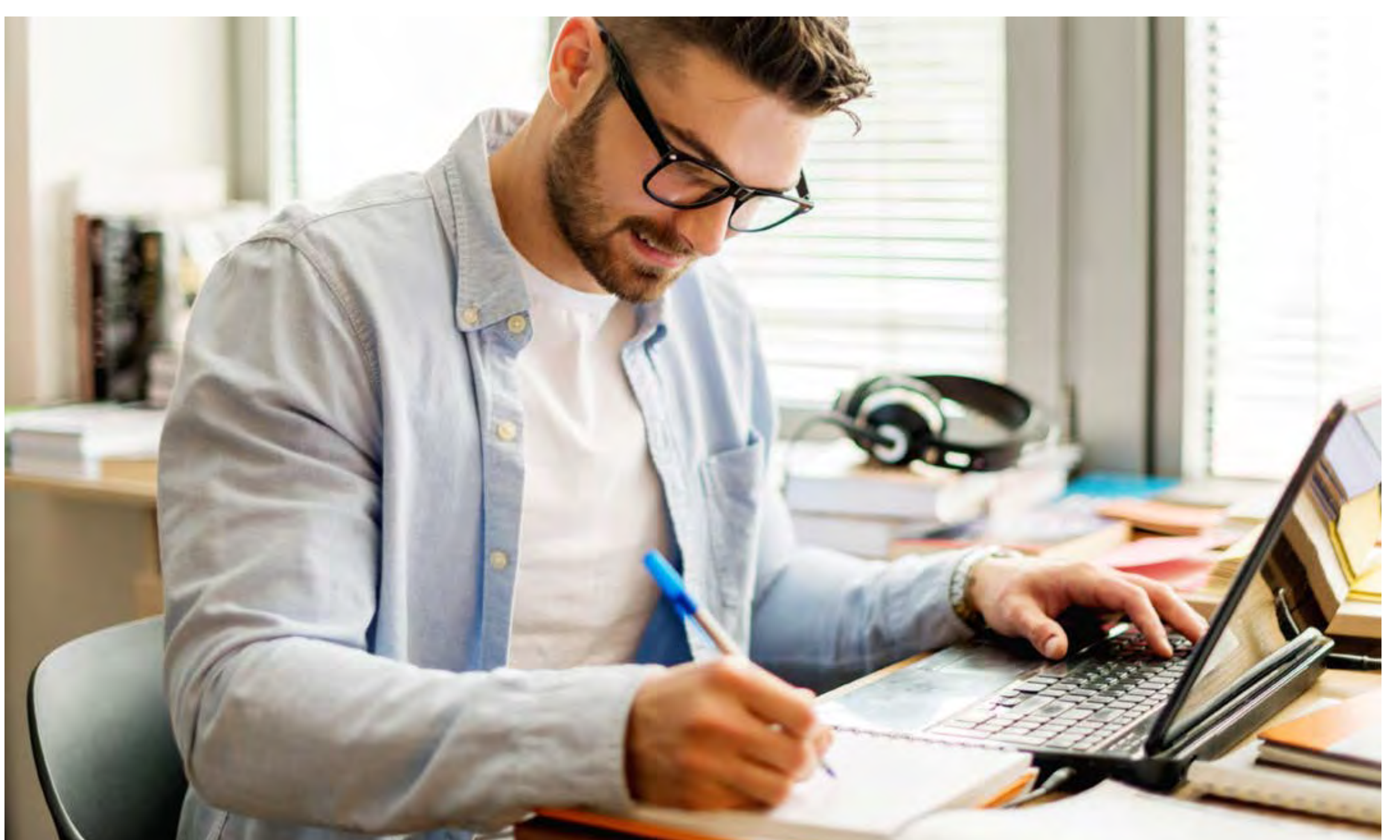
وفي كثير من الأحيان، يصعب تحديد الخيارات البحثية التـي يلـزم تفسـيرها للمُراجِـع. وفـي هـذا الصـدد، نوصي بالاطـلاع علـى الأبحاث والمحاضـرات المنشـورة في مجال الدراسـة، لفَهْـم أوجـه القصـور المحتملـة، ومعرفـة كيفية معالجتهـا. صحيـح أن المؤلف قد يشـعر بصعوبة معالجة كافـة أوجه القصور البحثية التي يُحتمل أن تشـوب مقترحه البحثي، إلا أن الحل دائمًا سـيبدأ من التحقق من متطلبات النشـر التـي تفرضها الدوريـات العلمية بخصوص شـفافية التجـارب، وقابليـة نتائجهـا للتكـرار. وسـنجد أن كثيـرًا مـن الدوريـات العلميـة يضع اشـتراطات معينة تتعلـق بالإفادة بالبروتوكـولات البحثيـة المتبعـة، واسـتخدام العينـات البيولوجيـة، وتوفيـر كـود التحليـل، وتفاصيل فنيـة أخرى. وقـد وضعـت الدوريـات هذه الاشـتراطات بهـدف التغلب على التحديات المرتبطة بقابلية النتائج للتكرار، والشفافية، مـع مراعـاة الطبيعـة الخاصة لـكل مجال. وينبغـي للباحث كذلـك أن ينتبـه إلـى الطريقـة التي يشـرح بهـا الباحثـون الآخـرون خياراتهـم البحثيـة، كمـا ينبغـي له أن يعـي أنه لا يتعيـن عليـه المغـالاة فـي إيضـاح أسـبابه إلى حد شـرح ما إذا كانـت التجربـة تحتـاج إلـى مجموعـة مقارنـة، أم لا (مع العلم أن جميع التجارب الجيدة، تقريبًا، تتضمن مجموعة مقارنـة واحـدة علـى الأقـل)، وإنما عليـه، علـى الأرجح، أن يشـرح سـبب ملاءمة مجموعـة المقارنة للإجابة عن السـؤال البحثـي الذي تطرحه الدراسـة.

"وجدنا أن مناقشة الدقة العلمية في المقترح البحثي غالبًا ما تتطلب صياغات دقيقة ومحددة".

إن اكتسـاب هـذه الدراية ليس عملية تحدث بين عشـية وضحاهـا؛ فتطوير الدراية بأوجه القصور التي تشـوب أحد المجـالات العلمية هو عملية دائمة، كما أن تقييـم الطريقة التـي يعلـل بهـا الآخـرون لقراراتهـم فيمـا يتصـل بتحقيـق الدقـة العلميـة من شـأنه أن يعـزز معرفة الباحثيـن بكيفية اتخـاذ مثل هذا القرارات. ويوفـر هذا الإطار الذي وضعناه طريقـة مـن بين عدة طـرق لتحديد أولويـات عملية البحث العلمـي، ومعالجـة مـا قد يشـوبها مـن أوجه قصـور تَحُول دون تكـرار نتائـج البحـث العلمـي، وتحقُّـق الشـفافية فيه. ولذا، فإننا نشجع كُتاب طلبات المِنَح على أن يطلبوا تقييم عملهـم البحثـي مـن أقران من خـارج مجموعاتهـم البحثية في ضوء ذلك الإطار المُكوَّن من الأسـئلة الثلاثة. ففي كثير مـن الأحيـان، يمكن لشـخص من خارج مجموعـة العمل أن يـرى خيـارات الكاتـب مـن منظـور مختلـف، وهـي خيـارات قـد يكـون الكاتـب قد سَـلَّم بصحتها، أو فشـل فـي تناولها بشـكل صريح مـن الأصل.

ونـرى أن تطويـر الدرايـة بالممارسـات المتعلقـة بالدقـة العلميـة فـي أثنـاء كتابـة المُقترَحـات البحثيـة سـيعزز على مـدار المشـروع البحثـي مسـتوى التفكيـر المُحكـم علميًّا.

جينيفر إل. ويلسون هي أستاذ مساعد في قسم الهندسة الحيوية بجامعة كاليفورنيا بمدينة لوس أنجيليس الأمريكية. أما **كريستال إم. بوثام**، فتدير أكاديمية تابعة لجامعة ستانفورد في ولاية كاليفورنيا الأمريكية، وتهدف إلى التدريب على كتابة طلبات المِنَح في مجال العلوم البيولوجية.


STOCKROCKET/ GETTY IMAGES

يتطلب شرح أسباب الخيارات العلمية من الباحث الحرص على التدرب على كتابة مقترحه البحثي، كي تتحقق عنده قوة التعبير، والقدرة على الإقناع.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

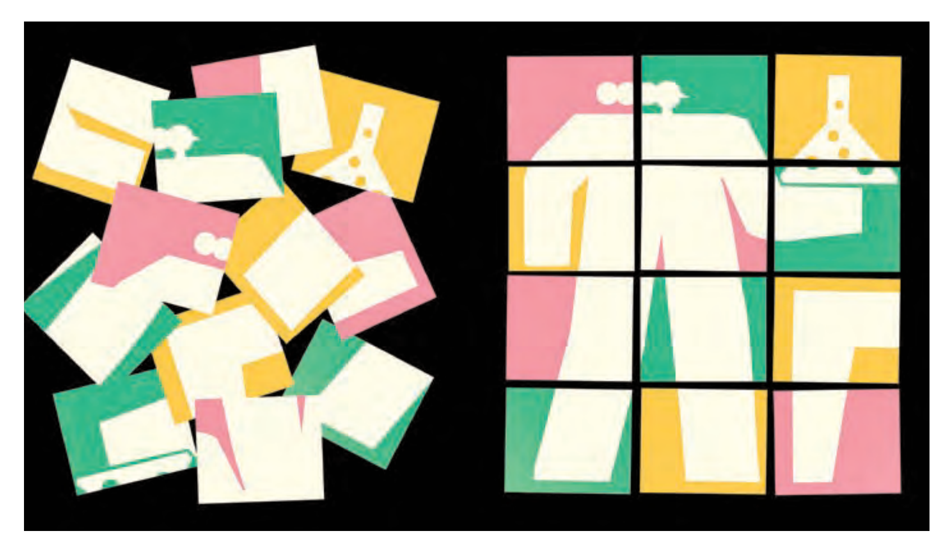


ILLUSTRATION BY THE PROJECT TWINS

إلى قادة الفِرَق البحثية: هذه التطبيقات تساعد على إدارت المختبرات

إطلالةٌ على الأدوات البرمجية التي شهِد قادة المجموعات البحثية بأهميتها في الحفاظ على سير العمل بسلاسة في مختبراتهم. **كِندال باول**

شعرت كريستي بالاي كما لو أنها دُفنت أسفل كومةٍ من الملاحظات الإلكترونية. بالاي، وهي اختصاصية علم التحليل الحوسبي للنظم الإيكولوجية، تثمِّن استخدام أعضاء فريقها لتطبيق المراسلة «سلاك» Slack من أجل "تبادل الأحاديث غير الرسمية" افتراضيًا، شأنها في ذلك شأن عديد من قادة الفِرَق البحثية. لكنها ترى أن هذا التطبيق يعتريه القصور عندما يتعلق الأمر بإدارة المشاريع البحثية المختلفة التي يباشرها مختبرها في الوقت الراهن؛ حيث تتوه الموضوعات والأفكار والأهداف طويلة المدى وسط طوفان من الرسائل، والرسوم الفكاهية الساخرة (الميمات).

تقول بالاي، التي تدير مجموعة بحثية مكونة من سبعة أعضاء بجامعة ولاية كِنت في أوهايو: "تطبيق «سلاك» ليس بالوسيلة المثالية لأغراض التوثيق". لذلك قررَتْ، في شهر مايو الماضي، "أن تحزم أمرها، وتدعو أعضاء المجموعة إلى منصة «تريلّو» Trello. وهذه البرمجية الخاصة بإدارة المشروعات هي أقرب ما تكون إلى لوحة إعلانات افتراضية قابلةٍ للمشاركة. وتأمل بالاي في أن تتيح هذه الوسيلة للأعضاء طريقة فعَّالة للحفاظ على سير أبحاثهم نحو إنجاز أهداف الفريق.

وعن نهجها في تتبع المشروعات، تقول بالاي: "إنه بمثابة نسخة رقمية من مفكرتي الورقية الصفراء، بأوراقها ذات القَطْع الكبير". والأهم من ذلك، أن هذه المفكرة الرقمية غير معرَّضة للفقد، على عكس مفكرتها الورقية.

عند الحديث عن تبسيط التواصل، وتنظيم المخزون، وإدارة المشروعات والمختبرات بشكل عام، غالبًا ما يبحث قادة المجموعات البحثية عن أدوات رقمية تتجاوز التطبيقات المعتادة، التي يُنصَح بها عادةً في تلك الحالة (ومنها تطبيق «مستندات جوجل» Google Docs، و«زووم» Zoom، و«سلاك»، و«جِت هَب» GitHub. يُستعان بهذه الأدوات البرمجية، على وجه التحديد، من قِبل الباحثين الذين يقودون مجموعات بحثية يتراوح عدد أعضائها ما بين 5 أفراد و15 فردًا، ولا يكون لديهم مدير مختبر بدوام كامل، أو مساعد إداري، ومن ثم تظهر حاجتهم إلى حلول برمجية غير مكلِّفة (انظر: 6 أدوات برمجية يُفضِّلها قادة المجموعات البحثية). (التطبيقات البرمجية المشار إليها في هذا المقال تتيح إمكانية الاستخدام المجاني للباحثين الأكاديميين، والاستخدام غير الهادف للربح، ما لم يُذكر خلاف ذلك في وصف التطبيق).

ويقول مارك جيرستين، عالم البيولوجيا الحاسوبية بجامعة ييل في مدينة نيو هيفن بولاية كونيتيكت: "من المفارقات الجديرة بالتأمل أن كثيرًا من هذه الأدوات ترمي إلى عدم جلوس الأشخاص أمام الشاشات طوال الوقت. لا أعتقد أن ذلك يساعد الناس على التفكير". ويشير جيرستين، عوضًا عن ذلك، إلى أن الأفكار الإبداعية تخرج من الباحثين عندما يناقشون أفكارهم ويدوّنونها معًا، سواءٌ أكان ذلك عن طريق الهاتف، أم الجهاز اللوحي (التابلت)، أم الكمبيوتر المحمول، أم في أثناء المقابلات.

رؤية شاملة لإدارة المشروعات

تُجري المجموعة التي تقودها بالاي بحوثها على مستعمرات الحشرات، ويشمل ذلك الاستعانة بتقنيات صوتية لتقدير حجم المستعمرة. نجح أعضاء الفريق في اجتياز الجائحة عن طريق الجمع بين تطبيقَي «زووم» و«مستندات جوجل»؛ هذا في حالة الاتفاق على المهام "العاجلة"، أما الأهداف طويلة المدى، فكانت دومًا عُرضة للتجاهل. تأمل الباحثة أن يساعد «تريلو» على سد تلك الثغرات.

باستخدام منصة «تريلو»، يمكن لـبالاي تقسيم المهام إلى خطوات، وإسناد كل خطوة إلى أحد أعضاء المختبر. على سبيل المثال، يحتاج الفريق إلى نشر أجهزة تسجيل صوتي، ضمن العمل على مشروع ميداني يتضمن تسجيل أغاني الجنادب ونطاطات الكاتيد. تحتوي الأجهزة على بطاريات قابلة لإعادة الشحن؛ لذا، من بين المهام المدرجة على المنصة، تكليف أحد الأعضاء بتوفير البطاريات، واختبارها، وشحنها.

ومن المزايا الأخرى التي تتيحها منصة «تريلو» لبالاي، تكوين رؤية موضوعية شاملة للأبحاث التي تجريها مجموعتها. توفر المنصة مساحةً لتخزين روابط «مستندات جوجل» التي تتضمن "الأفكار المتنوعة" المقترحة لتطوير عمل المختبر. وهي ترى أن ذلك يضعها دائمًا في موقع المسؤولية، مضيفةً أن تلك الطريقة من شأنها أن تجعل في إمكان أيِّ عضو من أعضاء الفريق العودة إليها ليقول: "إنكِ لم تراجعي ورقتي البحثية بعد".

بالمثل، تعكف ماري-آن لي، عالمة النُظم الإيكولوجية المتخصصة في المفترسات البحرية بجامعة تسمانيا في مدينة هوبارت الأسترالية، على تجربة تطبيق «ميرو» Miro، وهو أحد تطبيقات «السبورة البيضاء» whiteboard المتاحة عبر الإنترنت، لهدفين: أحدهما يتعلق بالتواصل بين أعضاء مجموعتها، والآخر يتصل بمسألة دمج الإسهامات البحثية متعددة التخصصات، التي تشترك فيها مجموعات ومؤسسات عدة.

قسمٌ كبير من مشروعات المجموعة البحثية التي تقودها لِي يصبُّ في مشروع «حُراس جنوب شرق أستراليا»؛ وهو مشروع تعاوني، يضم ثمانية فِرَق تنتمي إلى عدة مؤسسات (منها الأكاديمي، ومنها الحكومي، فضلًا عن المنظمات غير الهادفة للربح). يهدف المشروع إلى تتبُّع الجوانب الصحية والسلوكية لدى الطيور والثدييات البحرية، وكذا آليات تفاعلها مع البشر، علاوةً على كيفية تأثير موجات الحر في البحار على الحيوانات التي تعيش فيها.

تقول لِي إنه في ظل وجود عديد من القطع المتحركة، يصعب على المرء "أن يرى كيف تتوافق قطعته مع بقية أجزاء اللغز". ترغب الباحثة في التوصُّل إلى أداة تمكّنها من التعامل مع إدارة المشروعات، وتوليد الأفكار، وتوحيد الخطط. وتقول: "أعتقد أن تطبيق «ميرو» يستطيع القيام بهذه المهام جميعًا".

تتوقع لِي أن يكون تطبيق «ميرو» ذا فائدةٍ خاصة للطلاب المشاركين في مشروع تتراوح مدته بين عامٍ وعامين؛ بما يتيحه لهم من إمكانية تحديد مهامهم. ولذلك، تختبر لِي الفكرة حاليًا بشكل تجريبي مع إحدى طالباتها المتفوقات في المرحلة الجامعية، والتي تعكف على دراسة البطاريق. أنشأت كل واحدة منهما اللوحة الخاصة بها على التطبيق، وشاركتها مع الأخرى. ومشيرةً إلى طالبتها، تقول لي: "تستطيع أن تطّلع على أفكاري بمنظور شامل، وتتبيَّن موقع مشروعها من تلك الأفكار، كما يكون بمقدوري أن أرى ما تخطط له".

وسائل اتصال رقمية

يرى سي. تيتوس براون، اختصاصي المعلوماتية الحيوية الذي يقضي معظم أيامه أمام شاشة حاسوبه في جامعة كاليفورنيا، الواقعة في مدينة ديفيس الأمريكية، أن ثمة قيمةً كبرى للمحادثات القديمة المثمرة التي سبق أن أجراها مع أعضاء مختبره.

لكن براون ينفُر من الاجتماعات، لا سيما تلك التي تنظَّم بصفةٍ دورية. وعن ذلك يقول: "من الناحية الفلسفية، أعارض فكرة عقد اجتماعات أسبوعية، يتعين فيها على الشخص الحديثُ عن مهامه والتزاماته العملية بينما لا يزال عالقًا فيها". وعوضًا عن ذلك، يحرص على أن يكون متاحًا لأعضاء فريق مختبره، المتخصص في البيولوجيا كثيفة البيانات،

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

البالغ عددهم 15 فردًا، بحيث يستطيعون الوصول إليه بسهولة من أجل متابعة المستجدات معه.

عندما انخرط براون على مدى أسابيع في "دوامة الالتزامات المتلاحقة لأعضاء هيئة التدريس"، وجد أنه لكي يضرب موعدًا لعقد اجتماع، أمضى في كتابة الرسائل البريدية، والمشاركة في الاستطلاعات المنظَّمة عبر أداة «دودل» Doodle، وقتًا يفُوق المدة التي قد يستغرقها الاجتماع ذاته. ومن هنا، قرر اللجوء إلى تطبيق «كالِندلي» Calendly لإدارة الاجتماعات، لضمان أن يكون متاحًا متى احتاجه أعضاء الفريق.

يتميز تطبيق «كالندلي» بأنه يتيح اشتراكات مجانية، وأخرى زهيدة التكلفة (تتراوح بين 8 دولارات و15 دولارًا أمريكيًا في الشهر)، كما أنه يتكامل مع تقويمات «جوجل»، و«آي كلاود» iCloud، و«آوتلوك» Outlook، وكذلك مع برامج الاجتماعات، مثل «زووم»، و«جوجل مِيت» Google Meet، و«مايكروسوفت تيمز» Microsoft Teams، مع الحفاظ على الخصوصية. يقول براون: "يتكامل التطبيق مع التقويم الذي أستخدمه بشكلٍ لا يجعل بإمكان أي شخص التعرُّف على سبب انشغالي في وقتٍ بعينه".

يمكن لمستخدمي «كالندلي» إنشاء صفحات عامة على التطبيق، تتيح لأي شخص يملك الرابط أن يطلب تحديد موعد في فترات زمنية محددة سلفًا. وعندما يحجز الشخص فترة زمنية معينة، يرسل البرنامج إشعارًا إلى المستخدم، ويحدِّث التقويم الخاص به تبعًا لذلك.

وإضافةً إلى ذلك، يمكن لمستخدمي البرنامج تحديد أوقات "سرية"، لا تكون متاحةً للجميع، مثل فترات الصباح الباكر، أو الساعات المتأخرة من الليل، وقَصْرها على التواصل مع زملاء في بلدان أخرى. أما براون، فيخصص واحدة من تلك الفترات السرية لطلاب الدكتوراه، الذين يكونون بحاجة إلى حجز اجتماعات تستمر لثلاث ساعات لمناقشة أمور تتصل بالرسائل العلمية التي يعكفون على إعدادها. ويقول: "اللقاءات مع أعضاء فريق المختبر مقدَّمة عندي في الأولوية على غيرها من اللقاءات"؛ ولذا، يتيح لهم تطبيق «كالندلي» فرصةً لا بأس بها للاطلاع على مواعيده، ومعرفة الأوقات التي يكون فيها متاحًا.

وكما هو الحال مع براون، يفضِّل جيرستين أن يكون الحديث والتعاون وجهًا لوجه مع أفراد مجموعته البحثية، التي تُعنَى بإجراء تحليلات واسعة النطاق للبيانات الصادرة عن أجهزة استشعار حيوية قابلة للارتداء. ولا عجب، على حد قوله، في أن يجتذب هذا العمل "عشاق الكمبيوتر، الولعين به". ولما كان الأمر كذلك، فقد كان على جيرستين أن يتفكَّر مليًّا في طريقةٍ تُغريهم بترك شاشاتهم لبعض الوقت. يقول: "تتيح لنا أجهزة الكمبيوتر الآن كتابة النصوص، وإملاءها، وكذا الرسم بأيدينا بطُرُق أكثر راحةً وطبيعية". يثبِّت جيرستين هاتفه على طاولة قريبة، وباستخدام تطبيق «مسجل جوجل» Google Recorder، يسجِّل المناقشات؛ وفي الحال، يقوم التطبيق (المتوفر فقط على هواتف «بيكسل» Pixel) بتحويل المناقشات المسجَّلة إلى نصوص. وهكذا، يقترن النص المكتوب بالتسجيل الصوتي، ومن ثم يمكن البحث فيه عن طريق الكلمات المفتاحية. وثمة تطبيق إملائي آخر، هو تطبيق «رِف» Rev، يتيح خدمة نسخ يدوية سريعة، تقوم على تحويل التسجيلات الصوتية إلى نصوص مقابل 1.25 دولار لكل دقيقة مُسجَّلة. ويستعين الباحث أيضًا بتطبيق «جرامرلي» Grammarly، بهدف "معالجة النص المكتوب غير المنقَّح، الناتج عن عملية تحويل التسجيل الصوتي إلى نص، وإصلاح ما قد يحوي من أخطاء لغوية على وجه السرعة".

ويقول جيرستين إن أفراد مجموعته، باستخدامهم هذه الأدوات جميعًا، قد اجتمع لهم "حشدٌ" من الموارد المتراصة، التي تتيح لهم الانتقال من مرحلة المحادثة إلى وضع مسوَّدة أولية لورقة بحثية عبر بضع نقرات، لا أكثر. ويُقدِّر الباحث أن الوقت الذي يقضيه الباحثون في أداء تلك المهمة ينخفض – بفضل تلك الأدوات – بمعدل النصف.

لم يكتفِ جيرستين بذلك، وإنما عَمَد أيضًا إلى التفتيش في الأدوات التي يمكن أن تساعد على إحياء تجربة التفاف العلماء حول سبورة بيضاء واحدة. من بين الخيارات المتاحة، خاصية «إضافة تعليق» Annotate التي يتيحها تطبيق «زووم»؛ وهي الخاصية التي لجأ إليها جيرستين أثناء الاجتماعات عن بُعد قبل الجائحة، وفي أثنائها. وثمة خيار آخر، يتمثل في تطبيق «روكيت بوك» Rocketbook، وهو ليس أكثر من دفتر ملاحظات فعليٍّ قابل لإعادة الاستخدام (تتراوح تكلفته ما بين 16 و45 دولارًا)، أوراقه شبيهة بالسبورة البيضاء، ويقترن بتطبيق للهاتف المحمول، يتولى تحويل كل ما يخطُّه الباحث من ملاحظات، ورسوم كرتونية، وأشكال بيانية إلى ملفات رقمية. يُذكر أن التطبيقَين «روكيت بوك» و«جوجل لِنس» Google Lens يعتمدان على تقنية التعرف الضوئي على الرموز، من أجل تفسير الكتابة اليدوية وتحويلها إلى نص رقمي يمكن البحث فيه. يقول جيرستين: "لقد حفظتُ آلاف الصفحات بهذه الطريقة".

نظرةٌ إلى تطبيقات إدارة المخزون

في جامعة نيو مكسيكو، الكائنة في مدينة ألباكركي الأمريكية، يكمُن التحدي الرئيس، فيما يتعلق بإدارة المختبرات، في إدارة المخزون، حسبما أفادت اختصاصية علم المناعة إيرين ساليناس. كان الإحباط قد خيَّم على المجموعة البحثية التي تقودها ساليناس نتيجةً لسوء التنظيم فيما يخص المواد التي يجري توريدها إلى المختبر، وحالة الفوضى التي تحيط بسلسلة الإمدادات المخبرية، والتي تفاقمت بسبب الاضطرابات الناجمة عن الجائحة. تتذكر ساليناس تلك الأوقات، قائلة: "كنا نتلقى رسائل لا حصر لها، تسأل عمَّن أرسل طلب التوريد، وهل وصل الطلب أم لا، ومن الذي تسلَّمه، وهل تمَّت تجزئته، وأين يجري تخزينه؟".

6 أدوات برمجية يُفضّلها قادة المجموعات

- «إني ديسك» AnyDesk: برنامج مجاني للدخول إلى أجهزة الكمبيوتر، والتحكم فيها عن بُعد.
- «تطبيقات جوجل سكريبت» Google's Apps Script: تعمل على أتمتة الإجراءات عبر مجموعة تطبيقات «جوجل».
- «بنشلينج» Benchling: حزمة من تطبيقات علوم الحياة، تتضمن أدوات لتصميم الحمض النووي.
- «جوجل كيب» Google Keep: أداة برمجية رائعة لمشاركة الملاحظات القصيرة، والقابلة للمشاركة، بما في ذلك قائمة الكواشف، أو المهام المعملية المراد تنفيذها. ويمكن الدخول إليها والتعامل معها من خلال الهاتف الجوال.
- «كوارتزي» Quartzy: منصة تعمل على إضفاء الطابع المركزي على لوازم المختبرات، وقوائم الخرائط.
- «فويس دريم» Voice Dream: تطبيق يعمل على تحويل النص المكتوب إلى ملف صوتي، ويمكن استخدامه للاستماع إلى نصوص الأوراق البحثية، إذا أمكن الحصول عليها بصيغة «بي دي إف»، بنفس طريقة استخدام الكتاب الصوتي.

التمسَتْ ساليناس طريقة لتتبُّع سلسلة الإمداد بأكملها، من وقت طلب الكواشف، مثلًا، وصولًا إلى تخزينها بصفة نهائية على أرفُف المختبر، أو في ثلاجاته. ولحسن حظها، كانت إحدى الباحثات في فريقها (وهي باحثة في مرحلة ما بعد الدكتوراه) متزوجةً من مهندس برمجيات مستقل، وافق على تطوير تطبيق خاص بالفريق، وتهيئته على النحو الذي يلائم احتياجاتهم.

يتولى تطبيق «لاب إنفنتوري» Lab Inventory أتمتة إجراءات سير العمل في المختبر، بحيث يستطيع أعضاء الفريق الوصول إلى الطلبيات، وفحصها في أي وقت. يدمج التطبيق صورًا فوتوجرافية للأصناف التي يجري توريدها، وملفات بصيغة «بي دي إف» PDF لنماذج الطلبيات، تسهيلًا لإجراءات إعادة الطلب عند الحاجة. ويقول مطوِّر التطبيقات، كريستيان بولّو، إن تطبيقات الويب المصمَّمة خصِّيصًا لتلبية احتياجات جهة بعينها، مثل هذا التطبيق، تتكلَّف مبلغًا يتراوح بين ثلاثة وخمسة آلاف دولار، ويستغرق تطوير التطبيق ما يقارب الشهر. ويضيف بولّو أن التطبيق يصلح للعمل بكفاءة لدى المختبرات التي يصل عدد أعضائها إلى 30 فردًا، ولكن يمكن توسيع نطاقه ليشمل مجموعات أكبر.

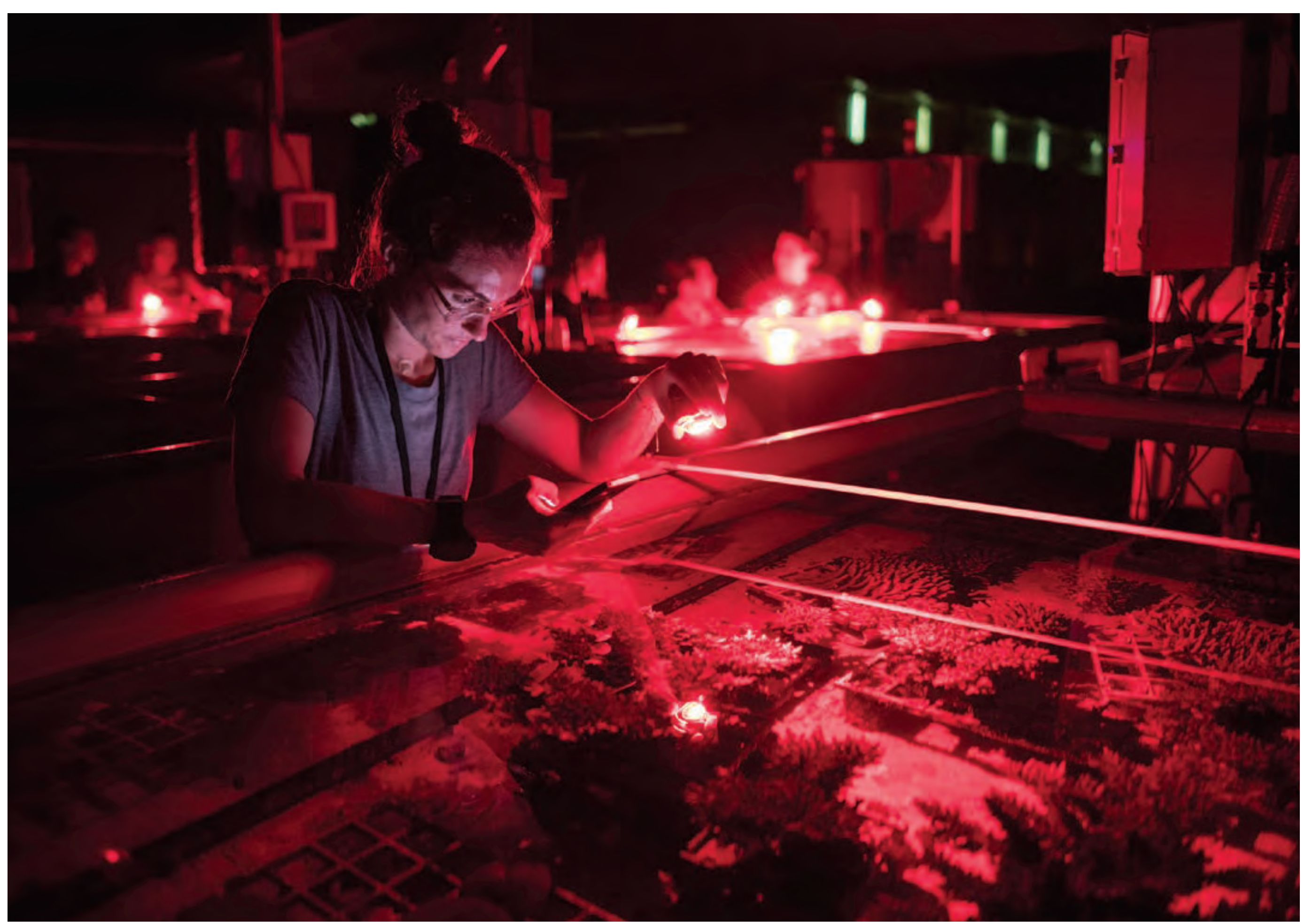
وبالنسبة إلى المختبرات التي يزداد الطلب على أجهزتها، يعمل برنامج «بوكيت» Bookkit على تبسيط عملية حجز الأجهزة وإدارتها. يقول رايف يوسيل، رئيس مركز علم الخلايا في جامعة إكستر بالمملكة المتحدة: "تطبيق «بوكيت»، بالنسبة إلى المنشآت البحثية، يُشبه خدمة «إير بي إن بي» AirBnB بالنسبة إلى المتعاملين مع تداوُل وحجز الوحدات السكنية".

ولما كان أكثر من 40 شخصًا يحاولون استخدام عشرة أجهزة، وجد يوسيل أنه بحاجة إلى التوصُّل إلى طريقة لإدارة استخدام تلك الأجهزة إدارةً فعالةً ومنضبطة. ومن خلال تطبيق «بوكيت»، أصبح في إمكان يوسيل الإعلان عن الأدوات والخدمات التي تتيحها منشأة قياس التدفق الخلوي الأساسية. كما أصبح في مقدور العملاء المحتمَلين، سواءٌ في الداخل أم الخارج، الحجز فورًا، متى وُجِدَتْ أماكن متاحة، وإذا توفَّرَتْ لديهم الصلاحية لذلك، أو كان بإمكانهم إرسال طلب إلى فريق يوسيل. ومن ثم، يستطيع يوسيل مراجعة التقويمات اليومية أو الأسبوعية أو الشهرية لجميع الأدوات المدرَجة على لوحة العرض الخاصة ببرنامج «بوكيت»، ويمكنه التحكم في صلاحيات الدخول الخاصة بكل مستخدم على حدة.

يملك يوسيل صلاحية استخدام «بوكيت» من خلال الاشتراك الخاص بجامعته، غير أن التطبيق يتيح للمجموعات الأكاديمية المُفردة خيار الاستخدام المجاني. كما يمكن لقادة المجموعات الحصول على تقرير شهري، يوضح الأشخاص الذين استخدموا كل جهاز من الأجهزة، وعدد مرات الاستخدام، ولأية مشروعات، بالإضافة إلى التكاليف ذات الصلة.

يتعيّن على قادة المجموعات إيجاد الأدوات الرقمية التي من شأنها أن تجعل مختبراتهم أكثر تنظيمًا وفعاليةً وإبداعًا. وإذا تمكَّنت التطبيقات من بلوغ هذه الغايات، فهي تستحق عناء تعلُّمها – هكذا يقول قادة الفِرَق البحثية. وما بين البرامج المعتمَدة داخل المؤسسة، ووسائل التواصل الاجتماعي المستخدَمة لأغراض توعوية، وغير هذه وتلك من الأدوات، قد يجد الباحثون أنفسهم غرقى في بحر الإعياء الناجم عن كثافة استخدام المنصّات المختلفة، على حد قول لِي، التي تستدرك قائلةً: "ومع ذلك، لا يمكن إغفال المتعة والإثارة المصاحبتين للرغبة في تعلُّم برامج جديدة، إذا كان من شأنها أن تجعل حياتنا أسهل".

كِندال باول كاتبة علمية تُقيم في مدينة بولدر، بولاية كولورادو الأمريكية.



حيث أعمل كيت كويجلي

صورة بكاميرا: يورجن فرويند

في شهر أكتوبر أو نوفمبر من كل عام، تُطلق الشعاب المرجانية التي تسكن الحاجز المرجاني العظيم (GBR)، على مدار بضع ليالٍ محددة، ملايين البويضات والحيوانات المنوية في المياه قبالة ولاية كوينزلاند الأسترالية، فيما يمكن أن يوصف بحفل تكاثر جماعي. والبحث الذي أعكف عليه يهدف إلى الاقتراب من فهم هذا الحدث، من خلال تناوُله بالدراسة في المركز الوطني الأسترالي للمحاكاة البحرية. وفي هذه الصورة، الملتقَطة في نوفمبر 2019، كنت أحدِّق في الحوض بشغفٍ شديد، لأن الحدث الكبير كان على وشك البدء. ولعلك تلحظ أننا نستخدم الضوء الأحمر لمراقبة عملية التكاثر، وما ذلك إلا لأنه لا يزعج الشعاب المرجانية.

أعمل ضمن برنامج "استعادة الشعاب المرجانية وتكييفها" Reef Restoration and Adaptation، الذي أُنشئ بالتعاون بين عدة معاهد أكاديمية، ودراستي معنية بالاستيلاد الانتقائي للشعاب المرجانية، بما يجعلها قادرةً على تحمُّل الحرارة في مواجهة تغير المناخ.

في أقصى شمال الحاجز المرجاني العظيم ، حيث تشتدُّ سخونة المياه، نجد الشعاب المرجانية النجمية الضخمة، التي تنجو من ارتفاع درجات الحرارة. وفي موسم التزاوُج، تتكاثر هذه الشعاب المرجانية بشكل طبيعي مع تلك التي تسكن المناطق الواقعة جنوبًا، إلا أن هذا لا يحدث بالسرعة التي تكفي لمواكبة ارتفاع درجات الحرارة. وعن طريق الاستيلاد الانتقائي، يمكننا إدخال خاصية تحمُّل الحرارة إلى المجموعات التي لا تمتلك هذه الخاصية، مثل تلك التي أتأمَّلها في الحوض، والتي جُمعَتْ من جزر كيبل، الواقعة في الجزء الجنوبي من الحاجز المرجاني العظيم.

وإذا علمتَ أن مساحة الحاجز المرجاني العظيم تعدُل مساحة إيطاليا، فهل ترى أن بإمكاننا التوسُّع في عملية الاستزراع من خلال الاستيلاد الانتقائي في الحضَّانات البرِّيَّة، قبل نقل اليرقات المرجانية التي تتحمل الحرارة إلى الشعاب المرجانية؟ أم من الأفضل أن يُعهد إلى سفن الحاويات بإيداع خلايا تناسلية مرجانية فوق الشعاب المرجانية مباشرة؟

والشعاب المرجانية غنية بطائفة متنوعة من الكائنات المتكافلة التي تسكنها، وهي طحالب وحيدة الخلية. واستيلاد المرجان المضيف، القادر على تحمُّل درجات الحرارة المرتفعة، من شأنه أن يؤدي إلى رفع متوسط عمر تلك الشعاب بمقدار 10 أضعاف إذا ما أصبحت المياه أشدَّ سخونة. أما إذا نجحنا في أن نفعل الشيء نفسه مع الكائنات المتكافلة، بحيث تكون قادرة على تحمُّل الحرارة، فسوف يقفز متوسط العمر إلى 26 ضعفًا.

سوف يمنحنا الاستيلاد الانتقائي فسحةً من الوقت للتعامل مع مشكلة الشعاب المرجانية، ولكنه ليس حلًا سحريًا. فاستمرار الارتفاع السريع في درجات الحرارة سوف يُفقد الشعاب المرجانية قدرتها على تحمل الحرارة، وهي القدرة التي نسعى إلى إكسابها إياها عبر أساليب تقوم على التنويع ما بين العناصر الجينية والطبيعية.

كيت كويجلي باحثة في المعهد الأسترالي لعلوم البحار، الواقع على أطراف مدينة تاونسفيل بولاية كوينزلاند الأسترالية.

أجرى المقابلة: جميس ميتشل كرو

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية